



**João Pedro
Loureiro Amaral**

**Desenvolvimento de um compactador de lixo
doméstico**



**João Pedro
Loureiro Amaral**

Desenvolvimento de um compactador de lixo doméstico

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor António Gil Andrade Campos (Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro) e do Professor Doutor Francisco Queirós de Melo (Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro).

o júri

presidente

Prof. Doutor José António Simões
Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

Doutor José Paulo Rainho
Investigador Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Carlos Relvas
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António Gil Andrade Campos
Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Francisco Queirós de Melo
Professor Associado da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Aos meus orientadores, Prof. Doutor Gil Andrade Campos e Prof. Doutor Francisco Queirós de Melo por partilharem o seu conhecimento científico e experiência, pelo apoio, disponibilidade e incentivo demonstrados.

À Sara Pinheiro por todo o incentivo, motivação e, principalmente, pela compreensão, companhia e optimismo ao longo desta importante etapa.

A todos meus amigos pela amizade e incentivo, em particular ao João Cardão, Luís Teixeira e Bruno Silva, por todo apoio e disponibilidade no decorrer deste projecto.

À minha família, pelo apoio e incentivo incondicionais e por tornarem deste meu importante objectivo também o seu.

A todos, muito obrigado!

palavras-chave

Lixo doméstico, compactação, compactador de lixo, compactação radial, desenvolvimento de produto.

resumo

Atendendo à crescente preocupação a nível ambiental, surgem novas ideias para gestão de resíduos domésticos e industriais de forma a melhorar o seu transporte e armazenamento. O transporte de lixo, devido ao seu elevado volume, é uma tarefa dispendiosa. De entre as várias soluções para resolução deste problema destaca-se a compactação do lixo.

A venda de compactadores de lixo no mercado português é muito reduzida, quer se destine a uso particular quer profissional. As soluções unicamente disponíveis no mercado internacional são de elevados custos e dimensões o que os torna pouco atraentes para o consumidor. Deste modo, o objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de um compactador de lixo doméstico, robusto, fiável, de baixo custo e cujas dimensões permitam a sua inserção em contentores de lixo doméstico.

A realização de estudos como forma de atingir a solução ideal, recorrendo a cálculos, simulações de movimento 3D e à análise de tensões e deformações, originou várias soluções de entre as quais se destacam as seguintes: a solução de engrenamento centrado, compressão por cabo, braço tipo alavanca, engrenagem e a solução por guiamento. Destas soluções estudadas optou-se por desenvolver aquelas que cumprem os requisitos iniciais do projecto. Assim, a solução de engrenamento centrado e a de compressão por cabo foram as soluções escolhidas para desenvolvimento. Ambas as soluções desenvolvidas recorrem à compactação radial. Deste modo, a capacidade de compactação destes equipamentos é superior comparativamente aos encontrados no mercado internacional. De forma a resistir aos esforços aplicados e reduzir os custos de fabrico, a solução de engrenamento centrado é desenvolvida em aço CK45. A aquisição de componentes disponíveis no mercado como, por exemplo, o conjunto motor/redutor, reduz o custo do equipamento uma vez que elimina a necessidade de dimensionamento e construção dos mesmos. Quanto à solução de compressão por cabo, todos os componentes necessários são de custo reduzido e de elevada disponibilidade no mercado. Tanto uma solução como a outra cumprem as restrições impostas ao projecto. Estas são de reduzidas dimensões, tornando-se assim em equipamentos adaptáveis a qualquer espaço da cozinha.

keywords

Domestic garbage, compaction, garbage compactor, radial compaction, product development.

abstract

Due to the increasing ambient concern, new ideas appear for the management of domestic and industrial residues, to improve its transport and storage. Garbage's transport, due to its high volume, it's a very expensive task. Among several solutions, compacting garbage can be distinguished as an important way to solve that problem.

Garbage compactor's sales in Portuguese market are very small whether for domestic or industrial use. The only solutions available on the international market are high cost and size which makes them unattractive to the consumer. Thus, the purpose of this study is the development of a domestic garbage compactor, robust, reliable, low cost, which allows its insertion into containers of household waste.

The completion of studies in order to achieve the ideal solution, using calculations, simulations of 3D motion and analysis of stresses and deformations, resulted in several solutions, which stand out as follows: the solution of central gear, by cable compression, arm type lever and the solution by guidance. Of those tested solutions were chosen to develop those that meet the initial project's requirements. Thus, the central gear and cable compression solutions were selected for development. Both solutions developed use the radial compression. Thus, the ability to compression of this equipment is superior compared to those found in the international market. In order to resist the efforts applied and reduce production costs, the solution of central gear is developed on steel CK45. The purchase of components available on the market, for example, the whole motor/reducer, decreases the cost of equipment because it eliminates the need for design and construction of them. As for the solution of compression cable, all the necessary components are low cost and high availability in the market. Both solutions comply with the restrictions imposed on the project. These are of small size, becoming adaptable equipments to any kitchen area.

Índice

Índice de figuras	3
Índice de tabelas	5
Capítulo 1- Introdução	6
1.1-Problema do lixo	6
1.2-Soluções para o problema	8
1.2.1- Educação ambiental e prevenção	8
1.2.2- Compactação.....	11
1.3-Tipos de compactação	12
1.4-Objectivos	14
1.5-Restrições impostas ao projecto	14
1.6-Guia de leitura.....	15
Capítulo 2- Estado da arte.....	16
2.1- Compactadores de lixo.....	16
2.1.1- Componentes e princípio de funcionamento	16
2.1.2- Tipos de compactadores: vantagens e desvantagens	17
2.1.3- Soluções existentes.....	19
2.1.4- Patentes registadas.....	21
Capítulo 3- Estudo e desenvolvimento de soluções	25
3.1- Solução de engrenagem.....	25
3.2- Solução de braço tipo alavanca	27
3.3- Solução por guiamento	28
3.3- Solução com engrenamento centrado.....	29
3.4- Solução de compressão por cabo	32
Capítulo 4- Dimensionamentos e projecto	35
4.1- Materiais a usar.....	35
4.1.1- Vantagens e desvantagens dos diferentes materiais	35
4.1.2- Opções escolhidas.....	35
4.2- Selecção de componentes	36
4.2.1- Motor e redutor	36

4.2.2- Conjunto cremalheira, pinhão e corrente.....	37
4.3- Dimensionamento de componentes.....	39
4.3.1- Engrenagens.....	39
4.3.2- Veio	42
4.4- Cálculo de desempenho do equipamento	45
4.4.1- Razão volúmica de compactação máxima	45
4.4.2- Análise volumétrica.....	47
4.4.3- Força de compactação e momento torsor.....	48
Capítulo 5- Testes e análise numérica.....	51
5.1- Utilização do software de simulação CATIA.....	51
5.1.1- Análise numérica de tensões e deformações	51
5.2- Conclusões	55
Capítulo 6- Conclusões	56
6.1- Conclusões gerais.....	56
6.2- Trabalhos futuros	57
Referencias Bibliográficas	57

Índice de figuras

Figura 1- Acumulação de lixo a céu aberto numa rua da cidade do Porto	6
Figura 2- Estado de uma das ruas da cidade de Nápoles.....	7
Figura 3- Acumulação de lixo nas ruas da cidade de Nápoles	7
Figura 4- Cartaz informativo de um evento de reconhecimento de zonas de acumulação de resíduos	8
Figura 5- Ecoponto	10
Figura 6- Separação de lixo num centro de triagem	10
Figura 7- Armazenamento de resíduos ferrosos depois de compactados.....	11
Figura 8- Camião de recolha de resíduos do município de Matosinhos.....	12
Figura 9- Camião de recolha de resíduos da <i>Volvo</i>	12
Figura 10- Tipos de compactação mais utilizados.....	13
Figura 11- Compactação radial.....	13
Figura 12- Equipamento de compactação.	14
Figura 13- Medidas do contentor de lixo.	15
Figura 14- Princípio de funcionamento de um compactador de lixo.....	16
Figura 15- Compactador industrial.....	17
Figura 16- Dimensões e componentes principais de um compactador de lixo doméstico.	18
Figura 17- Exemplo de possível localização de um compactador doméstico	18
Figura 18- Compactadores domésticos (a) Whirlpool e (b) KitchenAid	19
Figura 19- Componentes do sistema mecânico e eléctrico	20
Figura 20- Compactadores com painéis frontais personalizados das marcas (a) GE e (b) Viking	20
Figura 21- Compactador registado pela Whirlpool Corporation®	21
Figura 22- Compactador registado pela Norris Industries® ..	22
Figura 23- Compactador registado pela empresa Amana Refrigeration® em 1973	22
Figura 24- Compactador industrial de Floyd R. Gladwin.....	23
Figura 25- Fases do ciclo de compactação.	23
Figura 26- Compactador manual.....	24
Figura 27- Principais componentes da solução de engrenagem.....	25
Figura 28- Movimento da solução de engrenagem	26
Figura 29- Pás de compactação da solução de engrenagem.	26
Figura 30- Solução de braço tipo alavanca. Apenas se representam os componentes principais. .	27

Figura 31- Principais componentes da solução.....	27
Figura 32- Sistema de transmissão de movimento.....	28
Figura 33- (a) Solução por guiamento, (b) corpo exterior e (c) placas guia.....	29
Figura 34- Solução de engrenamento centrado.....	29
Figura 35- Principais componentes da solução de engrenamento centrado.	30
Figura 36- Engrenamento centrado.	31
Figura 37- Posição de final de compactação.....	31
Figura 38- Esboço de uma solução de compressão por cabo.	32
Figura 39- Principais componentes da solução de compressão por cabo	33
Figura 40- Dimensões do perfil "T".	33
Figura 41- (a) posicionamento das molas em relação aos perfis e (b) posição inicial do sistema... 34	
Figura 42- Solução de compressão por cabo.	34
Figura 43- Conjunto motor/redutor escolhido	37
Figura 44- (a) Pinhão e (b) cremalheira escolhidos.....	37
Figura 45- Corrente escolhida para o sistema a dimensionar.....	38
Figura 46- Diagramas de momentos aplicados a veios.....	43
Figura 47- Ligação com chaveta	43
Figura 48- Dimensão e disposição inicial das pás de compactação.	45
Figura 49- (a) Posição inicial das pás de compactação e (b) volume final resultante.....	46
Figura 50- Geometria do equipamento (a) desenvolvido e (b) existente no mercado.	48
Figura 51- Ligação entre a cremalheira, suporte em cruz, veio e engrenagem.....	49
Figura 52- Engrenamento entre roda dentada e braços de transmissão.	49
Figura 53- Ligação tipo dobradiça entre o braço de transmissão e a prensa de compactação.....	49
Figura 54- (a) Esforços e constrangimentos iniciais do braço de transmissão e (b) malha de elementos finitos.....	52
Figura 55- (a) Tensão equivalente de Von Mises e (b) deslocamento sofrido pelo braço.....	52
Figura 56- Forças aplicadas ao braço de transmissão.	53
Figura 57- (a) Restrições iniciais e (b) malha de elementos finitos.....	54
Figura 58- (a) Tensão equivalente de Von Mises e (b) deslocamento sofrido pelo corpo.	54

Índice de tabelas

Tabela 1- Comparação entre diferentes marcas de equipamentos.....	21
Tabela 2- Propriedades mecânicas do Aço CK45.	35
Tabela 4- Especificações da unidade propulsora	36
Tabela 3- Composição química do aço CK45.....	36
Tabela 5- Dimensões da cremalheira e pinhão	37
Tabela 6- Dimensões principais da corrente.....	38
Tabela 7- Valores de K_{Av} de acordo com o tipo de choque do engrenamento a dimensionar	40
Tabela 8- Valores de m e N_r em função do tipo de engrenagem escolhido	40
Tabela 9- Valor do factor geométrico em função da inclinação do dentado escolhido.	41
Tabela 10- Valores dos coeficientes C_3 e C_4	41
Tabela 11- Valores da tensão de ruína à fadiga superficial	41
Tabela 13- dimensões principais da chaveta escolhida.	44
Tabela 12- Valores geométricos de chavetas standard	44

Capítulo 1- Introdução

1.1- Problema do lixo

O elevado consumo de produtos industrializados conduziu ao aumento da poluição dos solos e das águas, piorando as condições de saúde das populações em todo o mundo. A quantidade de lixo gerado provocou um novo problema: rápido esgotamento dos aterros sanitários e a falta de espaço para armazenar e/ou tratar o lixo. Assim, dá-se origem à acumulação nos contentores municipais, a despejos em terrenos a céu aberto, bermas das estradas, rios, etc. A figura 1 representa um exemplo de acumulação de resíduos a céu aberto.



Figura 1- Acumulação de lixo a céu aberto numa rua da cidade do Porto ^[1].

O lixo é um componente importante do perfil epidemiológico de uma comunidade, exercendo influência, ao lado de outros factores, sobre a incidência das doenças. Do ponto de vista sanitário, não se pode afirmar que o lixo é causa directa de doenças. No entanto, está comprovado o seu papel na transmissão de doenças provocadas por macro e microrganismos que vivem ou são atraídos pelo lixo. Estes organismos encontram abrigo e alimento nos resíduos de natureza biológica, como fezes ou restos de origem vegetal, e podem ser agentes responsáveis por enfermidades transmitidas ao homem e a outros animais. Deste modo, a acumulação de lixo tornou-se não só um problema ambiental mas também de saúde pública. O mau acondicionamento do lixo traduz-se em poluição ambiental, risco à segurança da população. Porcos, ratos, aves, insectos (moscas, mosquitos, baratas, etc.), e micro organismos permitem o aparecimento de doenças tais como: raiva, dengue, febre-amarela, febre tifóide, cólera, leptospirose, giardíase, peste, tétano, hepatite A ou infecciosa, malária, entre outras ^[2]. Vários países da Europa e do mundo possuem graves problemas com as recolhas e armazenamento de lixo. A elevada produção de resíduos domésticos e industriais traduz-se na ocupação máxima dos aterros sanitários e assim na acumulação do lixo pelas ruas das cidades. Nápoles, cidade Italiana, é um caso recente e demonstrativo

do que se passou a nível da gestão dos resíduos urbanos. Na figura 2 e 3 é visível o estado em que se encontram as ruas da cidade.



Figura 2- Estado de uma das ruas da cidade de Nápoles, onde é visível a dificuldade de respirar devido ao intenso cheiro proveniente dos resíduos ^[3].

São 3700 toneladas de lixo que se espalharam pelas ruas, depois de os trabalhadores da lixeira de Caivano terem entrado em greve. Esta greve pretende realçar e chamar à atenção para a elevada produção de lixo e a ineficiente gestão do mesmo, por parte da área metropolitana de Nápoles. Como solução de emergência, transportou-se o lixo da cidade para uma incineradora em Hamburgo, Alemanha. Diariamente foram transportadas 700 toneladas de lixo por 56 camiões que demoram 44 horas a fazer a viagem desde Nápoles até Hamburgo ^[3].



Figura 3- Acumulação de lixo nas ruas da cidade de Nápoles ^[3].

Nápoles é apenas um exemplo de entre outras cidades que têm ignorado o crescimento dos problemas relacionados com o lixo. Como resultado das acumulações de lixo a céu aberto, são libertados químicos tóxicos para o solo e é produzido uma elevada quantidade de gás metano. Este,

comparado com o dióxido de carbono libertado por automóveis e fábricas, é mais prejudicial e nocivo, contribuindo em maior escala para o aquecimento global. Um problema que afecta a população mundial e que coloca a vida na Terra em risco. Deste modo, terão de ser tomadas medidas e apresentadas soluções para este problema.

1.2- Soluções para o problema

O lixo doméstico, até à pouco tempo, era formado principalmente por restos de alimentos, facilmente decompostos pela natureza. Com o crescente aumento da população e da intensa industrialização, surgiu um novo tipo de resíduo formado por embalagens (vidro, plástico, aço, alumínio) e produtos (copos plásticos, fraldas descartáveis) dificilmente decompostos pela natureza. Graças a esses factores, foi necessário adoptar alternativas mais adequadas no destino destes resíduos.

1.2.1- Educação ambiental e prevenção

Um passo importante para a resolução deste grave problema, passa pela educação ambiental e pela prevenção. Informando e alertando a população para os problemas que a acumulação de resíduos pode gerar. Todo este processo de informação está a ser feito apesar de não ser suficiente. São necessários incentivos para a população aderir a esta causa como, por exemplo, a organização de eventos que publicitem e chamem à atenção para este problema ambiental. O cartaz que se mostra na figura 4 informa acerca de um evento organizado por uma associação de residentes, que tem como principal objectivo o reconhecimento de zonas de acumulação de lixo na sua zona de residência.



Figura 4- Cartaz informativo de um evento de reconhecimento de zonas de acumulação de resíduos ^[4].

As acções de educação e sensibilização ambiental devem seguir a política dos “ 3 R’s ”:

- 1) Reduzir, só reduzindo a quantidade de produtos comprados e consumidos é que é possível diminuir a quantidade de resíduos existentes.
- 2) Reutilizar, dar novos usos aos resíduos que são produzidos, deste modo evita-se que passem por um novo ciclo de transformação ou por processos de tratamento ou eliminação, processos que representam custos para a sociedade e para o ambiente.
- 3) Reciclar, deposição dos resíduos no local apropriado de forma a garantir que sejam reaproveitados como matéria-prima e transformados em novos produtos.

A ordem pela qual deve ser seguida será a descrita; em primeiro lugar a redução, seguida da reutilização e por fim a reciclagem. A incineração de resíduos pode ser considerada como último recurso, para resíduos sem qualquer utilidade ou de carácter perigoso, dos quais nada pode ser feito.

A redução da quantidade de lixo produzido é o passo primordial para resolver o problema da sua acumulação e melhorar a sua gestão. Existem formas muito simples de conter a produção de resíduos como, por exemplo:

i) Numa ida às compras ao supermercado:

- Reduzir o número de sacos ou levar sempre o saco de casa. O mesmo saco pode ser utilizado muitas vezes;
- Escolher produtos não embalados, recarregáveis (como, por exemplo, as pilhas) ou que tenham embalagens reutilizáveis ou recicláveis;
- Comprar embalagens familiares em vez de embalagens individuais;
- Preferir detergentes que possam ter recargas;
- Preferir embalagens de vidro às de plástico.

ii) Em casa:

- Não utilizar loiça descartável;
- Não usar toalhas e guardanapos de papel, é preferível utilizar guardanapos de pano;
- Usar caixas resistentes para guardar alimentos, em vez de os embrulhar em folhas de plástico ou de alumínio.

Outro passo indispensável é a reutilização. Existem materiais concebidos para serem utilizados várias vezes. Assim, diminui-se a curto prazo a quantidade de resíduos domésticos, adiando a sua rejeição e consequente eliminação. São enunciados de seguida exemplos simples de como reutilizar alguns resíduos:

- Usar o verso de folhas impressas para rascunho.
- Imprimir frente e verso do papel.
- Usar os restos de frutas e legumes para fazer adubo (compostagem).
- Destinar algumas embalagens para outros fins que não o lixo (por exemplo, frascos de maionese ou outros semelhantes para guardar alimentos; caixas de sapatos para arquivos; latas para porta-lápis).

O processo de reciclagem é uma excelente solução. Proporciona menor degradação do ambiente, no processo de decomposição dos resíduos, e defende a preservação dos recursos naturais. Separar as embalagens usadas e colocá-las no ecoponto (figura 5) em vez de colocar tudo no mesmo

saco e colocá-lo no contentor de lixo comum, marca ainda uma diferença fundamental na quantidade de espaço ocupado nos aterros sanitários, prolongando o seu tempo de vida útil.



Figura 5- Eco ponto ^[5].

Os materiais recolhidos nos contentores do papel e das embalagens dos EcoPontos e Ecocentros são depois enviados para o Centro de Triagem onde são separados por processos mecânicos e manuais. No Centro de Triagem existem duas linhas independentes: a linha dos produtos planos para os resíduos de papel, e a linha dos produtos volumosos para as embalagens. Na figura 6 é possível observar a fase de separação manual dos resíduos, num centro de triagem.



Figura 6- Separação de lixo num centro de triagem ^[5].

O Centro de Triagem possui ainda uma linha de prensagem e enfardamento das 35.000 toneladas de resíduos que processa todos os anos. O papel e o cartão são separados manualmente por qualidades. As embalagens são separadas inicialmente por um íman que recolhe os materiais ferrosos sendo os restantes resíduos (plásticos e cartão complexo) separados manualmente. Depois de os

resíduos ferrosos serem separados, são comprimidos de modo a que ocupem menos espaço de armazenamento. Na figura 7 é visível o estado final dos resíduos depois da compactação.



Figura 7- Armazenamento de resíduos ferrosos depois de compactados ^[5].

As vantagens da utilização de matérias recicladas em detrimento das matérias-primas virgens são várias e contribuem para uma melhor qualidade de vida das populações. A reciclagem do plástico, por exemplo, contribui para uma diminuição do consumo de petróleo, um recurso escasso e precioso. Já a valorização das embalagens de metal através da reciclagem permite poupar minérios. As sílicas, ou areias, removidas directamente dos leitos dos rios são a base para a produção do vidro. Utilizar vidro reciclado na produção de novas embalagens de vidro contribui assim para a preservação do ambiente. Já no caso do papel, a utilização de pasta de papel reciclado na produção de novos objectos e novas embalagens, evita o abate de milhares de árvores. A mesma vantagem ambiental acontece com as embalagens de madeira, cuja reciclagem evita o recurso a matérias-primas virgens ^[5].

1.2.2- Compactação

A compactação dos resíduos produzidos é outra solução que deve ser seguida, uma vez que o grande problema do lixo é o seu transporte e armazenamento. Com a diminuição de volume ocupado pelo lixo, aumenta-se o tempo de enchimento dos aterros sanitários prolongando o seu tempo útil de armazenamento. Actualmente, esta compactação é efectuada pelos camiões de recolha de lixo. Estas viaturas estão equipadas com um sistema de compactação de forma a transportar a maior quantidade de resíduos de uma só vez. O camião da figura 8 destina-se a um serviço de recolha específico para estabelecimentos públicos da área de restauração no município de Matosinhos. Este tipo de estabelecimentos produz grandes quantidades de lixo que seria depositado nos contentores municipais. Deste modo, os contentores chegariam ao seu limite de ocupação em menor tempo conduzindo à acumulação de resíduos a céu aberto.

A empresa de construção de veículos *Volvo* tem vindo a testar na Suécia um novo tipo de veículo de recolha de lixo, descrito na figura 9. Este tem a particularidade de ser um veículo híbrido. É composto por um motor diesel, que obedece às mais recentes normas EURO para emissões de poluentes, e um motor eléctrico alimentado por duas baterias de lítio. É durante o “para-arranca”

que existem maior consumo de combustível e, consequentemente, maior emissão de poluentes. Deste modo, este veículo, devido às suas características, torna-se menos poluente e ruidoso ^[7].



Figura 8- Camião de recolha de resíduos do município de Matosinhos ^[6].



Figura 9- Camião de recolha de resíduos da Volvo ^[7].

Além dos veículos de recolha de resíduos, existe uma diferente forma de compactação. Neste caso por equipamentos domésticos que comprimem o lixo produzido diariamente. É sobre este tipo de sistemas que esta tese irá abordar.

1.3- Tipos de compactação

Tal como referido na secção anterior, a compactação pode ser uma das respostas ao problema da acumulação de resíduos. A compactação pode ser proveniente de diferentes tipos de sistemas: sistema mecânico, pneumático ou hidráulico. Estes sistemas transmitem o movimento ao mecanismo de compactação. Esta pode ser realizada de diferentes maneiras: horizontal ou verticalmente, com força radial ou centríptea e punções de diferentes geometrias: circular, quadrangular, triangular, etc. Na figura 10, estão representadas duas das formas de compactação mais utilizadas. A compactação vertical no sentido descendente, tem como vantagem o ganho em espaço disponível para colocar lixo, uma vez que todo o sistema eléctrico e mecânico se encontra na par-

te superior do equipamento. A principal desvantagem deste tipo de equipamentos é a força exercida sobre a estrutura e os apoios do mesmo. No caso da compactação horizontal, a principal desvantagem é a elevada ocupação de espaço disponível, uma vez que o sistema de compressão teria de ser muito superior ao caso anterior de maneira a obter resultados semelhantes.

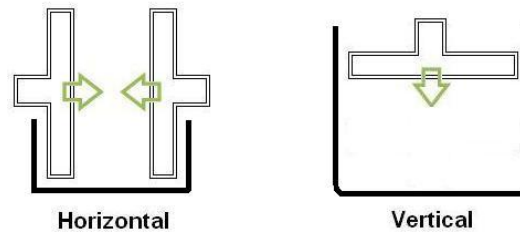


Figura 10- Tipos de compactação mais utilizados.

De forma a eliminar estes problemas e garantir a máxima compactação possível no menor volume possível, optou-se por estudar uma nova forma de compactação, a compactação radial, descrito pela figura 11.

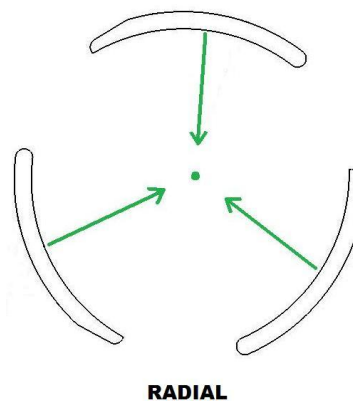


Figura 11- Compactação radial.

Na compactação horizontal ou vertical a força de compressão desenvolvida é linear, o que representa uma desvantagem para o tipo de compactação radial. Este tipo tem a vantagem de desenvolver uma grande capacidade de compactação uma vez que a força de compressão e a razão entre o volume inicial e o final é proporcional ao raio do volume ao quadrado.

$$V_{inicial} = A_{base} \times h = \pi r^2 \times h \quad (1.1)$$

Assim, é possível concluir que, para o mesmo volume disponível, a compactação radial permite maior compressão que os sistemas lineares da compactação vertical ou horizontal.

1.4- Objectivos

Tal como descrito na secção anterior, pretende-se, com este projecto, construir uma solução para o problema da acumulação de lixo doméstico.

A solução ideal deverá permitir a remoção rápida do volume compactado para posterior deposição em contentores de lixo municipal. A solução pretendida do mercado será aquela que se adapte ao espaço já destinado ao lixo (geralmente debaixo do lavabo/pia) e que apresente um elevado grau de compactação. O grau de compactação indica a redução de volume que uma massa de lixo pode sofrer, quando submetida a uma determinada pressão. A compressibilidade do lixo situa-se entre 1:3 e 1:4 para uma pressão equivalente de 4 kg/cm^2 [8]. Estes serão os valores utilizados para o dimensionamento do equipamento compactador.

Deverá ser construído um protótipo inicial e posterior teste, quer a nível de funcionalidade quer de resistência à estrutura e principais componentes.

1.5- Restrições impostas ao projecto

Para o desenvolvimento das possíveis soluções, é necessário ter em conta diferentes tipos de restrições a que o projecto está sujeito. Deste modo podem ser enunciadas como principais restrições as seguintes: o custo e as dimensões do sistema.

Qualquer escolha de materiais e componentes terá de ter em atenção o seu custo, que deverá ser minimizado o quanto possível. Assim, a escolha de componentes já existentes no mercado deverá ser uma opção, uma vez que o dimensionamento e construção desses mesmos componentes pode ser desnecessária, reduzindo os custos do equipamento. Como se pretende uma solução de custo reduzido, o ideal será usar componentes já existentes como por exemplo, o contentor. Este pode ser um simples caixote de lixo. Assim, o equipamento de compactação é então constituído por um contentor onde é inserido o novo sistema de compactação radial. A figura 12 representa o tipo de conjunto referido.

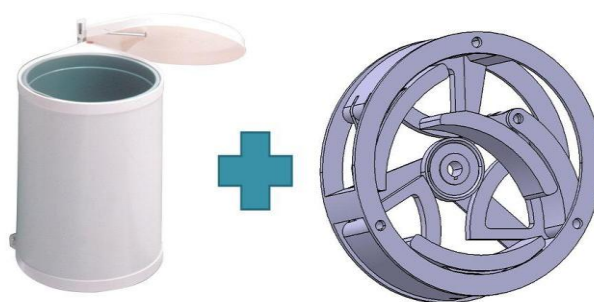


Figura 12- Equipamento de compactação.

Para iniciar o dimensionamento do sistema mecânico, tem-se como referência as medidas do contentor da figura 13, com diâmetro de 250 mm e altura máxima de 300 mm. Estas medidas de referência são as principais restrições do dimensionamento do sistema de compactação, uma vez que é em torno destas que se vai desenvolver todo o mecanismo.



Figura 13- Medidas do contentor de lixo.

Complementando o equipamento será disponibilizado um saco de lona para o armazenamento dos resíduos. Este terá a função de armazenamento dos resíduos e de protecção do equipamento. Uma vez que se pretende que a solução permita a recolha dos resíduos líquidos o saco no interior do compactador terá um ou mais orifícios de modo a permitir a passagem dos líquidos para a canalização ou reservatório.

1.6- Guia de leitura

O trabalho que se apresenta divide-se em três partes distintas as quais englobam seis capítulos. A primeira parte, capítulos 1 e 2, refere-se à apresentação do actual problema ambiental e possíveis soluções para o mesmo como, por exemplo a reciclagem e a compactação dos resíduos domésticos. Esta primeira fase inclui também toda a informação que caracteriza este trabalho como, por exemplo, os principais objectivos, as restrições impostas ao projecto e a revisão do estado da arte, a qual dá a conhecer as diversas soluções que existem disponíveis no mercado internacional.

A segunda parte é composta pelos capítulos 3, 4 e 5. Estes englobam todo o processo de estudo e desenvolvimento de soluções como, por exemplo, o dimensionamento de componentes necessários, cálculos de desempenho do equipamento desenvolvido e a simulação numérica de tensões e deformações em regime elástico.

A última parte, refere-se às principais conclusões a retirar deste projecto bem como a apresentação de ideias futuras a desenvolver.

Capítulo 2- Estado da arte

2.1- Compactadores de lixo

Um compactador de lixo é um equipamento de compressão de resíduos domésticos ou industriais, dependendo do tamanho e do tipo de utilização a que se destina. Para casos industriais, usam-se compactadores de grandes dimensões com capacidades de compactação e de volume elevadas. No caso doméstico são usados compactadores de menor escala com capacidades de compactação e volumes muito reduzidos. É sobre este tipo de equipamentos que esta tese irá abordar.

2.1.1- Componentes e princípio de funcionamento

Todos os compactadores de lixo apresentam o mesmo tipo de componentes e operam segundo o mesmo princípio. Podem identificar-se os seguintes componentes principais:

- 1) Contentor do lixo, onde o lixo é depositado pelo utilizador;
- 2) Mecanismo de compactação, que pode ser, por exemplo, um pistão ou um outro tipo de objecto que tem como função comprimir o lixo, exercendo uma força de compressão sobre este e assim compactando-o;
- 3) Motor ou outro sistema para transmissão de movimento ao mecanismo de compactação como, por exemplo, um sistema mecânico, hidráulico ou pneumático.

Este tipo de equipamentos é caracterizado por um simples princípio de funcionamento. A figura 14 descreve este princípio. O utilizador coloca o lixo no contentor onde este, por meio mecânico, hidráulico ou pneumático, irá ser compactado através de um pistão ou outro tipo de sistema actuante. Este exerce pressão sobre o lixo compactando-o, restando apenas ao utilizador retirar o saco do compactador no final da compressão assim que o contentor tenha atingido o limite de ocupação.

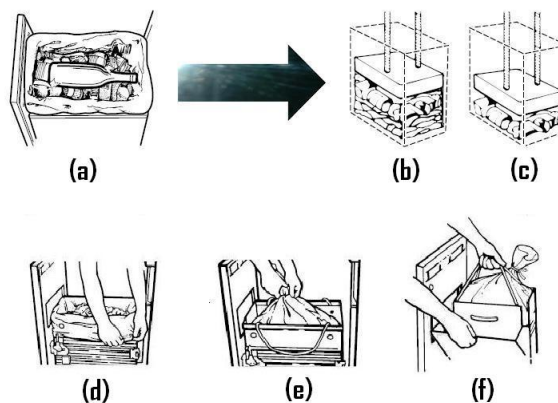


Figura 14- Princípio de funcionamento de um compactador de lixo. (a) Colocação do lixo; (b) início e (c) fim da compactação; (d) quando o limite de ocupação do lixo é atingido o (e) saco é fechado e (f) retirado do contentor ^[8].

2.1.2- Tipos de compactadores: vantagens e desvantagens

Como descrito na secção anterior existem dois grandes tipos de compactadores de lixo, os industriais e os domésticos. Os industriais, exemplo da figura 15, são de maior dimensão e capacidade de compactação, uma vez que dispõem de maiores potências podendo assim exercer maiores pressões sobre o lixo. As pressões deste tipo de compactadores podem variar entre 100 e 145 bar. Este tipo de equipamento é usado em hospitais, hotéis e fábricas ^[9].



Figura 15- Compactador industrial ^[9].

Este tipo de sistemas têm numerosas vantagens. É possível enunciar como principal vantagem o retorno de capital. Este tipo de equipamentos demora cerca de 10 a 15 vezes mais tempo a encher, poupando assim no horário de trabalho. Tempo que pode ser usado para outras tarefas mais importantes aumentando a produtividade da empresa. O número de recolhas efectuadas também é menor, reduzindo as despesas em transporte.

Para além destes factores devemos ter em conta o aumento do nível de higiene e de segurança evitando, por exemplo, incêndios ou outros acidentes provenientes da exposição dos resíduos, oferecendo assim melhor serviço a clientes e melhores condições de trabalho para os operários e para a empresa em geral. A principal desvantagem é o seu custo inicial. Contudo, em empresas onde se produza muito lixo, desperdícios ou resíduos, o seu tempo de retorno poderá ser de curto prazo, já que com este sistema as empresas podem poupar dinheiro.

A grande diferença dos compactadores industriais para os domésticos é o seu tamanho. O princípio de funcionamento e os componentes genéricos são bastante semelhantes aos industriais. Os equipamentos domésticos são de dimensões reduzidas uma vez que estão restritos a um reduzido espaço como, por exemplo, numa cozinha. Deste modo, trabalha com volumes e potências muito reduzidas em comparação com os industriais. De entre os produtos encontrados, a potência de motor varia entre 1 e 3 cv, produzindo no final uma força de esmagamento que varia entre 9 e 22 kN. Como se pode observar na figura 16, este tipo de compactadores domésticos tem 30 a 38 cm de largura, 86 a 90 cm de altura e 50 a 60 cm de comprimento.

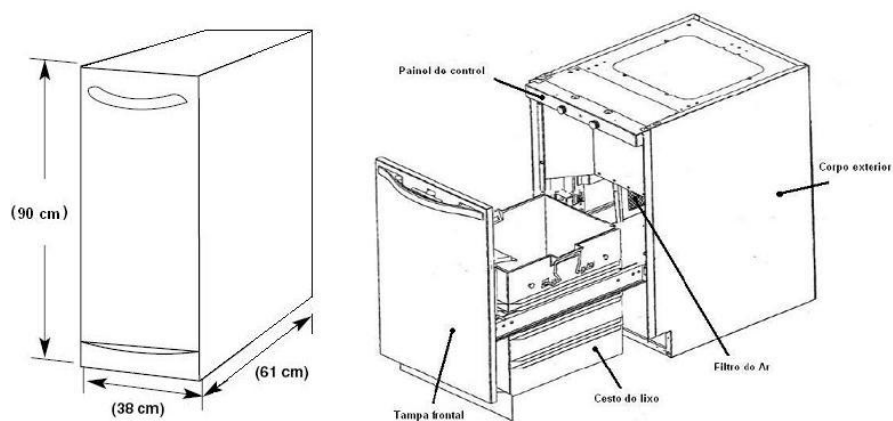


Figura 16- Dimensões e componentes principais de um compactador de lixo doméstico ^[8].

Estas medidas devem-se ao facto de os compactadores serem usados principalmente em zonas de pequenas dimensões como, por exemplo, por baixo do lava-loiça ou noutros sítios da cozinha normalmente pouco utilizados, como se pode ver na figura 17. Estes sistemas têm de ser pequenos e enquadrados na estética da cozinha. De realçar que a estética é também muito importante para a introdução e venda do compactador no mercado.



Figura 17- Exemplo de possível localização de um compactador doméstico ^[10].

Os compactadores de lixo são utensílios de cozinha fáceis de usar que trazem vantagens quer funcionais e estéticas quer ambientais. Com este tipo de equipamentos, o lixo produzido diariamente pode ser compactado até $\frac{1}{4}$ do seu tamanho original, o que representa menor número de idas ao contentor municipal.

Tal como nos compactadores industriais, os domésticos também têm a vantagem de carácter higiénico e ambiental. O lixo fica bem acomodado não permitindo cheiros desagradáveis nem a

criação de germes e bactérias prejudiciais à saúde, tornando assim a cozinha mais higiênica e saudável.

Tanto nos sistemas industriais como nos domésticos as principais desvantagens são o seu custo inicial e a sua manutenção, sendo esta última desvantagem mais acentuada nos sistemas industriais. No caso dos equipamentos domésticos a questão do tempo de retorno não se coloca, uma vez que o compactador apenas beneficia o utilizador em termos de funcionalidade e higiene.

2.1.3- Soluções existentes

Neste momento, no mercado nacional, apenas se encontra disponível uma versão destes equipamentos de compactação de lixo. A venda está entregue a uma empresa com sede em Lisboa. A SANOSTRA é uma empresa importadora deste tipo de sistemas e de variados equipamentos para uso doméstico. Este género de equipamentos pode ser encontrado com facilidade no mercado internacional, onde existe uma vasta variedade de marcas como, por exemplo, *KitchenAid*, *Whirlpool*, *Viking*, *Jenn-Air*, etc. Na figura 18 é possível observar dois exemplos deste tipo de equipamentos domésticos. Cada marca possui diferentes compactadores dependendo das exigências de cada cliente. Estas soluções variam apenas em termos de tamanho, capacidade de compactação e acabamento exterior, mantendo-se exactamente o mesmo sistema de funcionamento.



Figura 18- Compactadores domésticos (a) Whirlpool e (b) KitchenAid ^[10].

O tipo de lixo a ser compactado é igual em todos os equipamentos encontrados. Com este tipo de sistemas apenas se pode compactar lixo sólido inorgânico. Qualquer resíduo, que depois de comprimido possa resultar na libertação de líquidos, não é permitido. Por exemplo, legumes ou cascas de legumes, frutas, etc.

Todos os produtos deste género têm as mesmas dimensões e as mesmas capacidades. A média de capacidade encontrada foi de 40 litros. De toda a pesquisa efectuada, poucos apresentavam capacidade superior. Um dos compactadores mais complexo encontrado possui uma capacidade de aproximadamente 48 litros, o que se revela posteriormente num aumento bastante acentuado do custo em relação à média encontrada para este tipo de equipamentos ^[10].

O funcionamento é igual para todos, alterando apenas o modo de início da compactação bem como o design exterior. Algumas marcas optam por usar um pequeno pedal que inicia o ciclo e outras preferem o uso de botões de accionamento. A nível de componentes, todos utilizam motores eléctricos para movimentar o sistema mecânico de compactação. A figura 19 representa o tipo de sistema usado na maioria dos equipamentos encontrados.

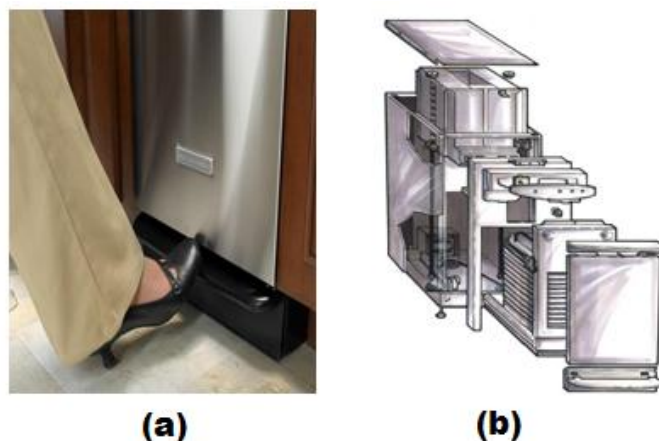


Figura 19- Componentes do sistema mecânico e eléctrico: (a) pedal de início de ciclo e (b) sistema de movimento ^[10].

Consoante as preferências do cliente, algumas marcas disponibilizam uma vasta variedade de opções de equipamento a integrar no seu produto, a nível de potência e principalmente a nível estético. Deste modo, os clientes interessados podem escolher o produto que mais se adequa ao seu gosto pessoal e ao enquadramento com a sua cozinha. De entre algumas opções destaca-se a escolha de filtros activos, potência do motor e, principalmente, o painel frontal. Sendo este último componente aquele que possui maior visualização por parte dos utilizadores, tornando-se assim importante modificá-lo atendendo à opinião de cada cliente. Na figura 20 estão representados exemplos de painéis opcionais, que algumas marcas disponibilizam aos seus clientes no momento da compra.



Figura 20- Compactadores com painéis frontais personalizados das marcas (a) GE e (b) Viking ^[10].

Como se pode ver pelas figuras 20 (a) e (b), o compactador torna-se invisível uma vez que está completamente enquadrado na estética da cozinha. A desvantagem destes opcionais é o custo.

Em qualquer marca que proporcione este tipo de acessórios, o preço do produto sofre um aumento de 15 a 20% em relação ao preço original. Na tabela 1 é apresentada uma comparação entre várias marcas de compactadores de lixo disponíveis no mercado internacional e algumas das suas principais características.

	KitchenAid	Whirlpool	Viking
Capacidade [l]	39,64	39,64	48,14
Força de compactação [kg.f]	1043,26	955,54	1360,78
Taxa de compactação	1/5	1/4	1/4
Tempo de ciclo [s]	-	-	35
Preço base [€]	418,71	321,93	1263,86
Preço c/ personalização [€]	483,22	386,45	1405,79

Tabela 1- Comparação entre diferentes marcas de equipamentos. O preço destes equipamentos não inclui o valor dos acessórios como, por exemplo, os sacos de lixo e do filtro de ar, sendo estes adquiridos à parte. Usou-se a taxa de conversão 1€= 1,55 USD ^[10].

2.1.4- Patentes registadas

Alguns dos equipamentos estudados na secção anterior provêm de sistemas mais antigos, que foram melhorados e evoluídos para os que estão agora disponíveis no mercado.

Várias marcas registaram patentes de equipamentos como, por exemplo, a marca Whirlpool. Esta possui uma patente de um equipamento deste género, representado na figura 21, registada em 8 de Julho de 2004. Andrew Kasprowiez, Devin Cochran e Earl Mann foram os inventores deste equipamento que a Whirlpool Corporation® registou ^[12].

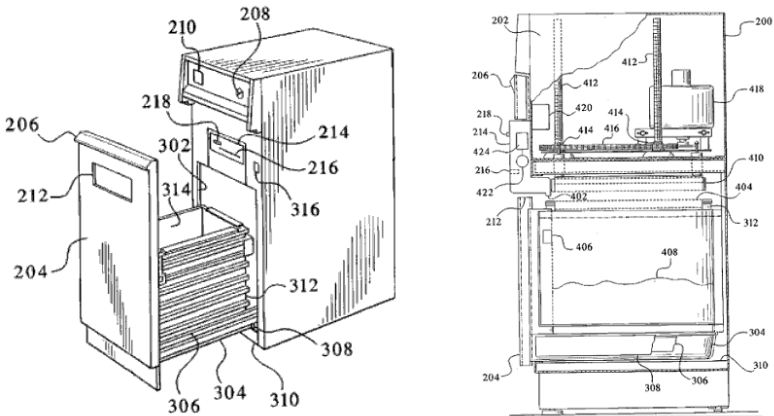


Figura 21- Compactador registado pela Whirlpool Corporation® ^[12].

Tal como os compactadores domésticos, os compactadores industriais são usados ao longo de vários anos. Como se pode ver na figura 24, este compactador industrial foi registado a 9 de Setembro de 1975 e inventado por Floyd R. Gladwin ^[14]. O lixo é compactado através de um pun-

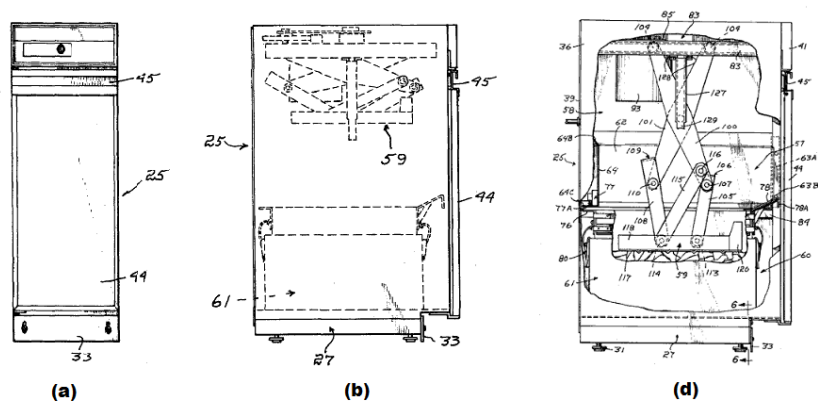


Figura 22- Compactador registrado pela Norris Industries®. (a) Vista frontal do equipamento, (b) posição inicial e (c) posição final de compactação ^[13].

O equipamento da figura anterior, utiliza um sistema de braços tipo tesoura, de forma a exercer a força de compressão necessária para compactar os resíduos. O movimento provém de um motor eléctrico e por uma transmissão por correias localizado na extremidade superior do equipamento. A figura 23 é mais um exemplo deste tipo de equipamento doméstico, registado a 13 de Março de 1973 pela empresa Amana Refrigeration. Leonard J. Sahs e Cedar Rapids foram os inventores deste sistema ^[14].

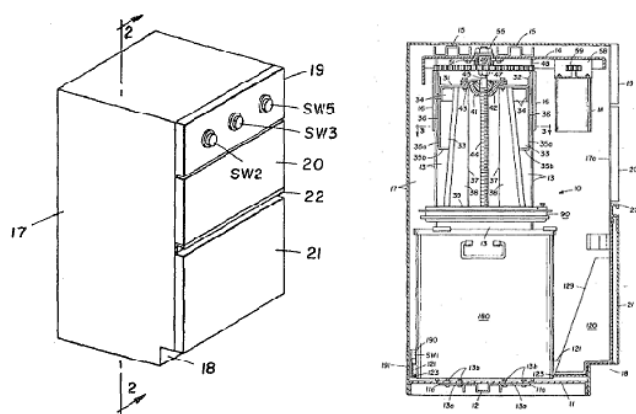


Figura 23- Compactador registado pela empresa Amana Refrigeration® em 1973 ^[14].

Tal como os compactadores domésticos, os compactadores industriais são usados ao longo de vários anos. Como se pode ver na figura 24, este compactador industrial foi registado a 9 de Setembro de 1975 e inventado por Floyd R. Gladwin ^[14]. O lixo é compactado através de um pun-

ção ligado a um cilindro hidráulico que lhe fornece movimento. Para garantir o guiamento durante o movimento e a uniformidade da compactação, contém uma coluna guia que acompanha o ciclo de compactação descrito na figura 25.

United States Patent [19] BEST AVAILABLE COPY [11] 3,903,790
Gladwin [45] Sept. 9, 1975

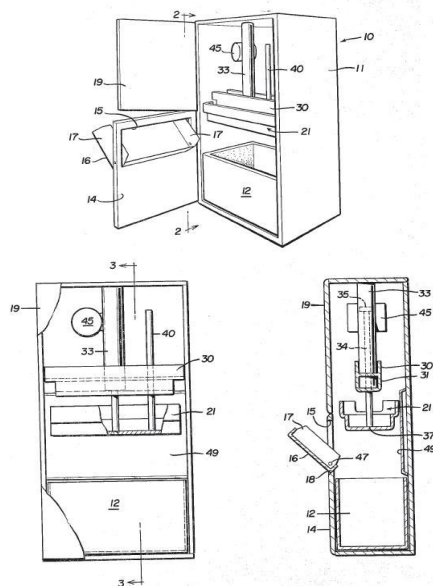


Figura 24- Compactador industrial de Floyd R. Gladwin [15].

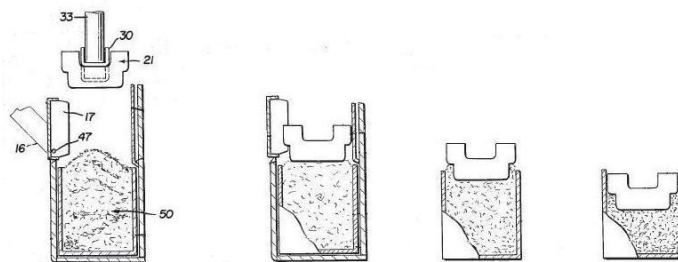


Figura 25- Fases do ciclo de compactação [15].

Para além deste tipo de equipamentos de compactação, existem os compactadores manuais. Estes são pouco utilizados uma vez que eliminam a componente de funcionalidade e de comodidade comparados com um sistema automático. O equipamento demonstrado na figura 26 é exemplo desse tipo de mecanismo. Foi inventado por William E. Wagner e por K. N. Singh Chhatwal (EUA) e registado a 15 de Abril de 1997. Tal como referido anteriormente, é um sistema de rotação manual accionado por um volante que transmite o movimento a um conjunto pinhão e cremalheira a qual está ligada ao elemento de compactação.

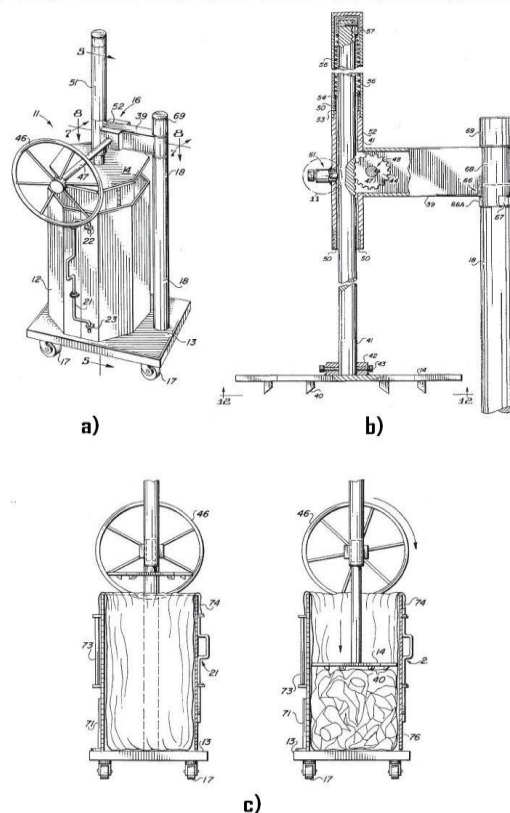


Figura 26- Compactador manual, (a) vista isométrica, b) sistema mecânico de accionamento, c) posição inicial e intermédia da compactação ^[16].

Pode concluir-se que os equipamentos, que se encontram hoje em dia em comercialização no mercado, são idênticos aos modelos registados há 20 anos atrás. Existem várias diferenças entre eles como, por exemplo, o ruído produzido durante o ciclo de compactação (superior no mecanismo mais antigo). A qualidade dos materiais e do equipamento em geral é muito inferior nos compactadores antigos, comparados com os equipamentos mais recentes. Isto deve-se ao facto da melhoria das técnicas de produção e dos próprios materiais usados na sua construção. A nível estético as diferenças são notórias, não só pelo uso de diferentes materiais, como também pelo próprio design do equipamento sendo, os novos compactadores, mais adequados para qualquer tipo de cozinha. Contudo, apesar das diferenças, o princípio de funcionamento mantém-se inalterado.

Capítulo 3- Estudo e desenvolvimento de soluções

Tendo como base as soluções existentes no mercado internacional, analisadas no capítulo anterior, efectuou-se um estudo para desenvolver várias respostas possíveis para o problema em causa. As soluções foram estudadas e desenvolvidas até que, por razões construtivas ou de funcionalidade, sejam eliminadas. Este processo de desenvolvimento é repetido até alcançar uma solução possível e viável de construção. De forma a simplificar a visualização e estudo das soluções, não são indicados diferentes tipos de componente necessários para o funcionamento dos equipamentos como, por exemplo, parafusos, rolamentos, vedantes, motor e redutor, etc.

De entre as várias soluções estudadas destacam-se as descritas nas secções seguintes deste capítulo.

3.1- Solução de engrenagem

Para o tipo de compactação escolhido e as restrições impostas ao projecto, chegou-se a uma possível solução ilustrada na figura 27. O movimento deste mecanismo provém de um pequeno motor eléctrico ao qual é acoplado um redutor de velocidade. Este, ligado à cremalheira, fornece movimento ao pinhão que está acoplado a cada um dos braços de transmissão de movimento. Estes estão ligados, de forma tipo dobradiça, às pás de compactação. Na figura 28 está representado o movimento e a força radial que é exercida pelas pás de compactação. Esta força provém do movimento do pinhão que transmite o binário ao braço de transmissão. Este, aplicado ao braço, gera uma força desenvolvida na extremidade do braço e que aponta para o centro do sistema.

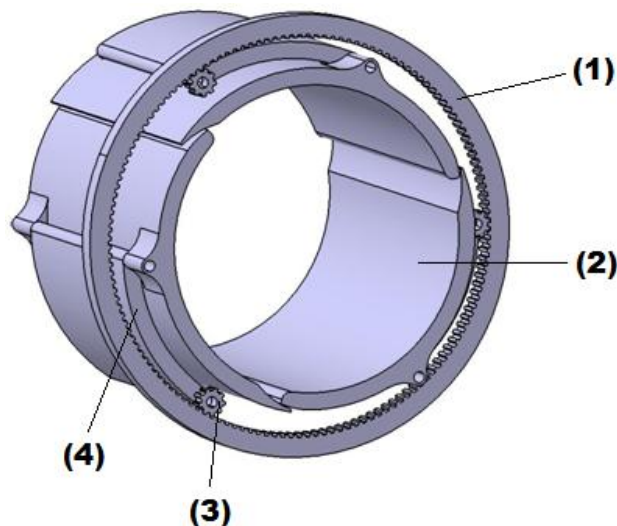


Figura 27- Principais componentes da solução de engrenagem: 1) Engrenagem de dentado recto de grande diâmetro, cremalheira; 2) Pás de compactação do lixo; 3) Engrenagens de diâmetro reduzido, pinhão; 4) Braços de transmissão de movimento.

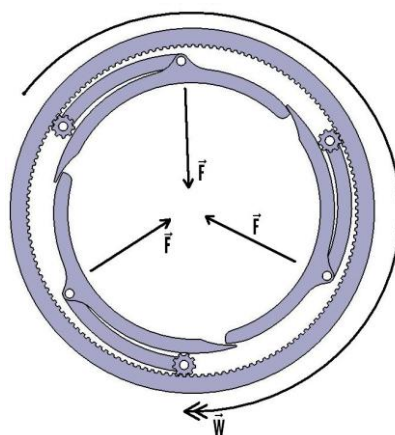


Figura 28- Movimento da solução de engrenagem (\vec{F} -força radial; \vec{W} - binário desenvolvido na cremalheira).

Na figura 29, estão representadas as pás de compactação, onde se vê a ligação ao braço de transmissão de movimento. Esta ligação é do tipo dobradiça que apoia na pá de compactação. Depois de todos os parâmetros geométricos definidos e os desenhos acabados, segue-se o dimensionamento de componentes. Pelas características e geometria deste sistema, pode prever-se alguns problemas nas engrenagens, uma vez que estas estarão sujeitas a enormes esforços. Deste modo, começou-se por dimensionar as engrenagens e verificar se este sistema mecânico é viável e de possível construção. Após efectuados os cálculos necessários¹, chegou-se a um módulo de engrenamento (m_n) de 18, o que resultaria numa largura de engrenagem de valor 180 mm. Este valor não é viável para a construção uma vez que não se poderia construir uma engrenagem de tamanho idêntico ao total do equipamento.

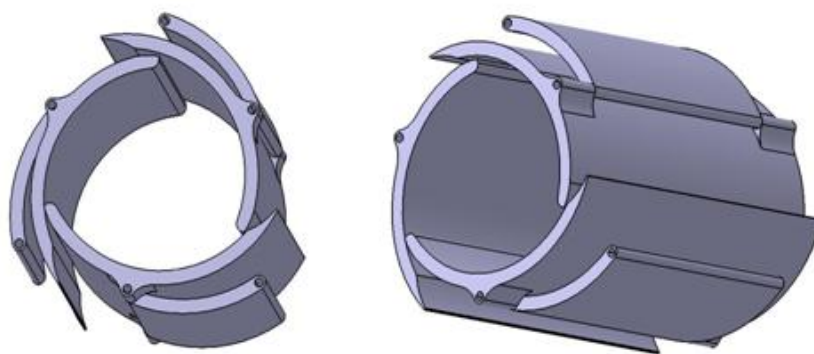


Figura 29- Pás de compactação da solução de engrenagem.

Devido à grande diferença entre os diâmetros das engrenagens, os esforços aplicados durante o movimento, seriam muito elevados. Deste modo, as engrenagens não suportariam tais esforços e acabariam por partir. Eliminando assim esta solução por razões construtivas.

¹ Todas as expressões e fórmulas de cálculo para o dimensionamento das engrenagens serão explicadas na secção de dimensionamento de componentes (Capítulo 4, secção 4.3).

3.2- Solução de braço tipo alavanca

Tendo em conta as falhas que levaram à eliminação da solução anterior, estudou-se a um novo tipo de sistema que cumpra os requisitos do projecto. Na figura 30 ilustra-se o tipo de sistema estudado e os principais componentes que o constituem, descritos em separado na figura 31.

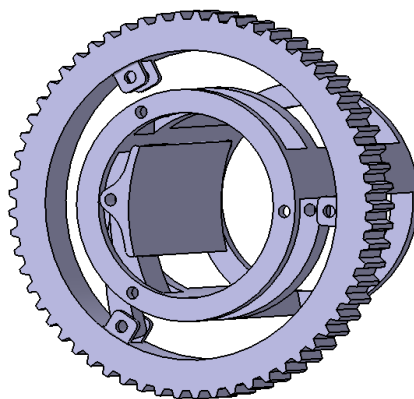


Figura 30- Solução de braço tipo alavanca. Apenas se representam os componentes principais.

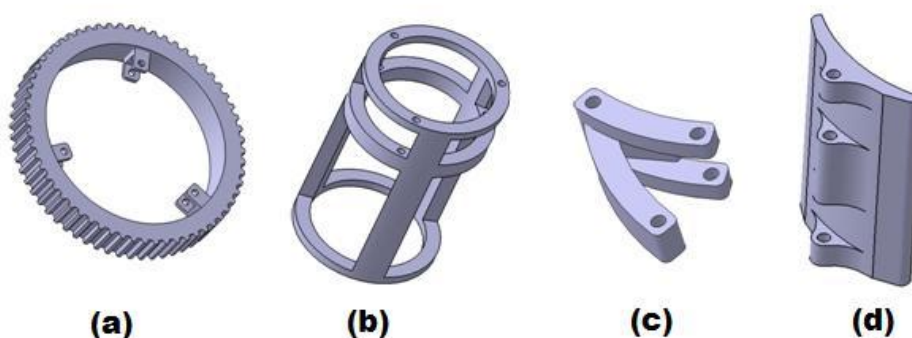


Figura 31- Principais componentes da solução: (a) cremalheira, (b) corpo de apoio interior fixo, (c) braço de transmissão, (d) pá de compactação.

Tal como na solução estudada anteriormente, o movimento é proveniente de um motor eléctrico em conjunto com um redutor de velocidade. Este garante a rotação e o binário adequado a este sistema mecânico. Aproveitando este movimento com a cremalheira de dentado recto, consegue-se a transmissão de rotação às pás de compactação através do sistema de braços mecânicos descrito na figura 32. Estes braços estão fixos a dois apoios diferentes. O braço de menor tamanho é apertado a uma estrutura fixa, garantindo a trajectória da pá, enquanto o braço de maior comprimento (ligado à cremalheira) transmite o movimento de rotação à pá de compactação. De realçar que não foram representados alguns componentes de maneira a poder observar-se com maior detalhe o sistema global. Faltam todos os componentes de guiamento e fixação da cremalheira, apoios, rolamentos, etc.

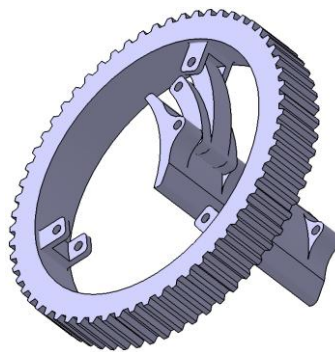


Figura 32- Sistema de transmissão de movimento.

Após a análise do mecanismo e do movimento do mesmo, chegou-se à conclusão que este equipamento não é resposta aos objectivos propostos. A solução estudada, apesar de complexa, é eficaz. O sistema de braços de transmissão diminui os esforços aplicados à estrutura, em comparação com a solução anterior, uma vez que não existe ligação por engrenagem. Deste modo, todo o movimento é transmitido directamente às pás de compactação, reduzindo o atrito e prolongando a vida útil do equipamento.

Tal como na solução anterior, este sistema seria construído em aço de construção CK45. O que tornaria esta solução muito pesada devido ao seu elevado número de componentes. A escolha de outro material foi eliminada uma vez que qualquer outro material não garantiria a resistência aos esforços aplicados ou seria de elevado custo. A acrescentar a esta desvantagem, deve-se ainda ter em conta a funcionalidade deste sistema mecânico. Ao analisar a geometria deste mecanismo, verifica-se a falta de espaço útil para a colocação e compactação do lixo. Mais de metade do volume disponível, é ocupado pelo sistema mecânico. Deste modo, o principal objectivo deste projecto torna-se impossível de atingir, eliminando esta solução.

3.3- Solução por guiamento

Com as mesmas restrições impostas ao projecto, e tendo em conta os erros sucedidos no sistema dimensionado anteriormente, estudou-se um diferente tipo de sistema mecânico. Na figura 33 está representado o sistema desenvolvido e os principais componentes deste sistema. Tal como a solução anterior, esta assemelha-se à solução de engrenagem uma vez que utiliza um conjunto motor/redutor para produção de movimento. O movimento proveniente deste conjunto é transmitido a uma cremalheira exterior. Os rasgos na cremalheira são dimensionados para que sirvam de guia às pás de compactação, descrevendo assim a trajectória ideal de modo a garantir a máxima compactação possível.

A principal vantagem deste tipo de sistema guia é a diminuição dos esforços aplicados à estrutura, uma vez que a compactação não é obtida directamente do elemento de onde provém o movimento.

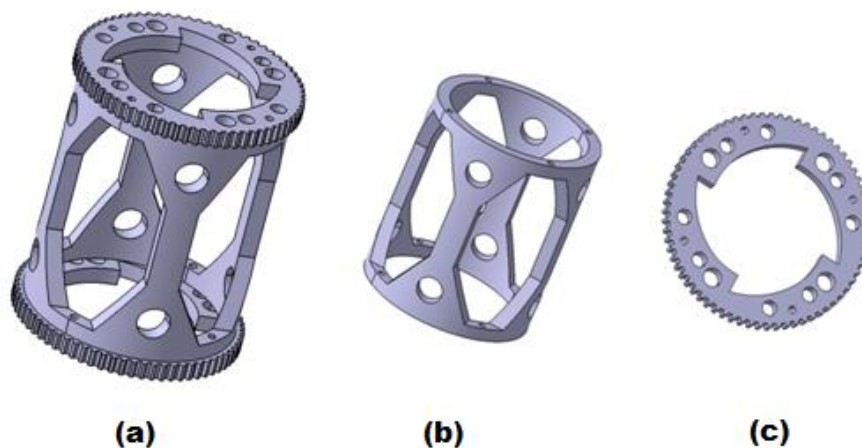


Figura 33- (a) Solução por guiamento, (b) corpo exterior e (c) placas guia.

Apesar de ser um mecanismo de possível construção, não pode ser considerado viável. É um sistema que contém muitos componentes, na sua maioria de grandes dimensões. Todo o seu movimento tem de ser orientado por rolamentos e elementos de fixação para garantir o seu alinhamento. Com este sistema mecânico, o volume de compactação é muito reduzido. A cremalheira guia, devido aos rasgos que possui, impossibilita a colocação do lixo que ocupa praticamente a entrada do contentor. Esta é a principal desvantagem que torna este mecanismo inviável. Não por motivos construtivos mas por razões de funcionalidade.

3.3- Solução com engrenamento centrado

Tendo em conta os erros e falhas, mas também os aspectos positivos das soluções anteriores, estudou-se um novo sistema mecânico que cumpra as imposições do projecto e ao mesmo tempo resolva os problemas gerados como, por exemplo, o reduzido volume de compactação devido à ocupação do mecanismo de compactação. Deste modo, chegou-se a um novo mecanismo de compactação radial representado na figura 34.

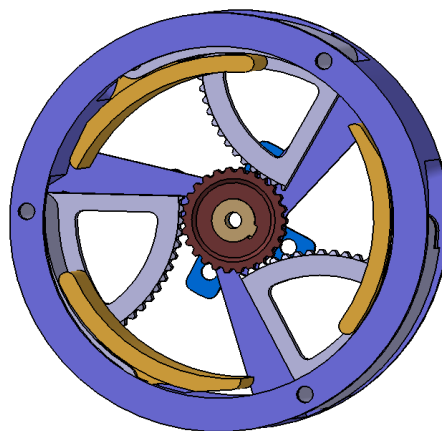


Figura 34- Solução de engrenamento centrado.

Na figura 35 apresentam-se as principais peças que constituem este sistema de compactação. Este mecanismo é dividido em duas partes. A primeira refere-se a componentes já existentes no mercado (conjunto cremalheira, pinhão e corrente). Estes componentes adquirem-se através de catálogos de fabricantes especializados em componentes mecânicos. A segunda parte é composta pelo sistema de compactação a ser dimensionado (engrenagens, veio, braço, corpo exterior e pás de compactação).

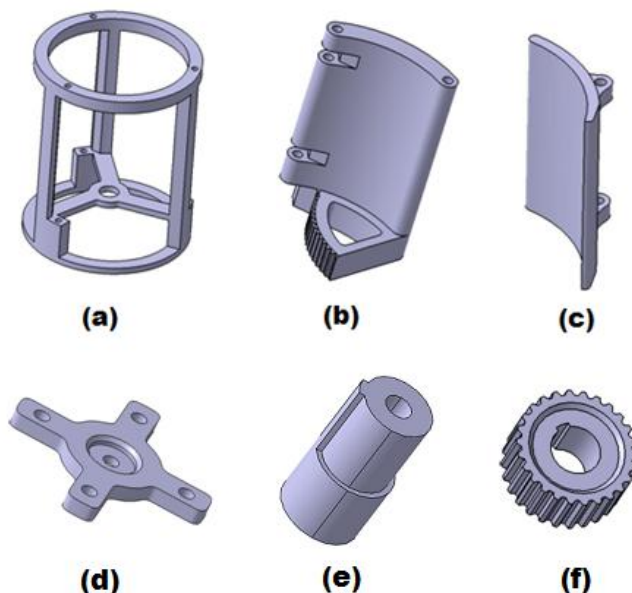


Figura 35- Principais componentes da solução de engrenamento centrado. (a) Corpo exterior, (b) braço de transmissão, (c) pá de compactação, (d) cruzeta de suporte, (e) veio chavetado e (f) roda dentada.

O funcionamento deste sistema mecânico baseia-se nas soluções anteriormente estudadas. Alguns componentes são idênticos aos anteriores, com algumas modificações para o funcionamento deste novo sistema como, por exemplo, o corpo exterior.

Tal como nas soluções estudadas nas secções anteriores, a energia eléctrica é a fonte de movimento deste equipamento. Utiliza-se um conjunto motor eléctrico e redutor para produzir o movimento de compactação. À saída do redutor de velocidade é acoplado um pinhão de transmissão, o qual está ligado à cremalheira através de uma corrente. Sendo a cremalheira posicionada concentricamente com o corpo exterior, o movimento de rotação transmite-se para o interior do compactador. Esta cremalheira está ligada ao suporte em forma de cruz que, por sua vez, está ligado a um veio. Este roda com a mesma rotação da cremalheira, transmitindo-se assim, o movimento a uma roda dentada posicionada no centro do corpo exterior. Acoplado à roda dentada, encontra-se o braço de transmissão. Este contém uma engrenagem na extremidade inferior, tal como descrito na figura 36. Devido à geometria do braço, o movimento de rotação é transformado em translação permitindo às pás de compactação, ligadas ao braço, exercer uma força de compressão sobre o lixo. Na figura 37 é visível a posição de compactação máxima deste sistema.

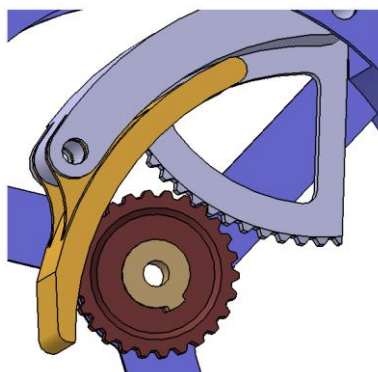


Figura 36- Engrenamento centrado. É possível ver na figura o engrenamento entre a roda dentada e o braço de transmissão.

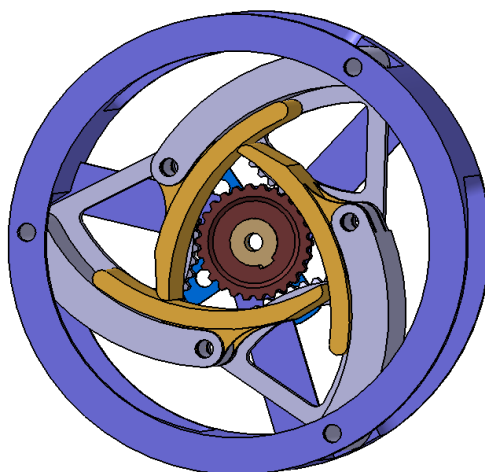


Figura 37- Posição de final de compactação.

A construção de alguns componentes pode ser indicada como a principal desvantagem desta solução. Tanto o corpo exterior como os braços de transmissão de movimento são de geometria complexa, o que resulta num aumento de custo de fabrico.

A fiabilidade e durabilidade são as principais vantagens deste sistema, uma vez que utiliza uma transmissão por corrente, em conjunto com uma transmissão de engrenagem. Este tipo de transmissão é caracterizado pela sua elevada precisão devido ao contacto entre dentes rígidos. A capacidade de compactação e funcionalidade são também características importantes neste equipamento. Todo o sistema mecânico está posicionado na parte inferior do equipamento, enquanto a colocação dos resíduos é efectuada pela extremidade superior. Assim, a entrada dos resíduos para compactação não é impedida por qualquer mecanismo. Como forma de aumentar a disponibilidade de volume, os braços de transmissão são recolhidos até ao interior do corpo. Desse modo, o volume disponível inicialmente para armazenamento de resíduos é bastante superior.

3.4- Solução de compressão por cabo

Com vista à funcionalidade e redução de custo de fabrico, estudou-se um novo tipo de equipamento. O princípio de funcionamento tem como base o esmagamento de resíduos através da força de compressão de um cabo de aço. Na figura 38 apresenta-se um esboço deste equipamento².

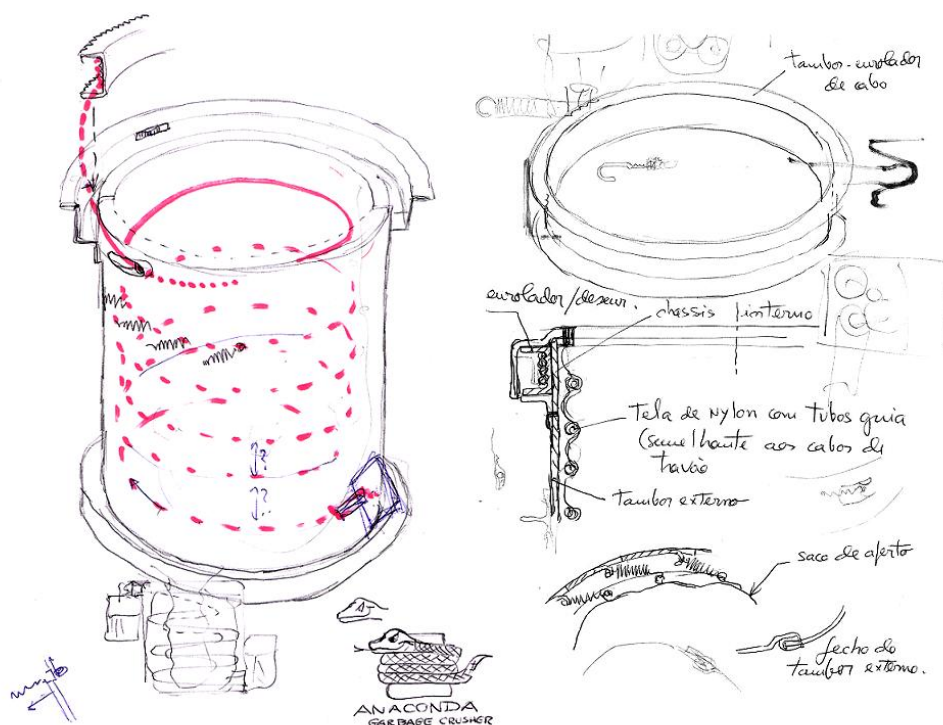


Figura 38- Esboço de uma solução de compressão por cabo.

O cabo de aço é colocado de forma helicoidal no interior de um contentor de lixo e preso à estrutura exterior do mesmo. Nas extremidades do contentor, existem dois enroladores que têm como função enrolar o cabo até ao limite desejado. Tal como em soluções anteriores, o movimento deste sistema provém de um motor eléctrico. Este deve garantir a força e a velocidade de enrolamento do cabo. Depois de o cabo ser enrolado, o motor inverte o sentido de rotação de modo a que o cabo volte à posição original. Para garantir a recolha e o posicionamento correcto do cabo, usam-se molas de tracção presas à estrutura do contentor e ao cabo. Ao analisar o mecanismo descrito anteriormente, conclui-se que os esforços exercidos no cabo são a principal desvantagem deste sistema. Como a compactação provém apenas da força de esmagamento que é produzida pelo cabo a quando do seu enrolamento, depois de efectuados alguns ciclos de compactação, o cabo de aço quebra por fadiga. Esta situação pode ser solucionada pela troca de cabo através do sistema de aperto rápido que o sistema contém. Deste modo, qualquer pessoa é capaz de trocar o

² Desenho gentilmente cedido pelo professor Francisco Queirós de Melo.

cabo de aço e repor o mecanismo em funcionamento sem a acção de qualquer assistente de manutenção do equipamento. A funcionalidade e custo são as principais vantagens deste equipamento.

Como forma de melhorar o sistema descrito, estudaram-se novos componentes para facilitar a compactação em conjunto com o cabo de aço. A figura 39 descreve os principais componentes estudados para o novo sistema de compactação.

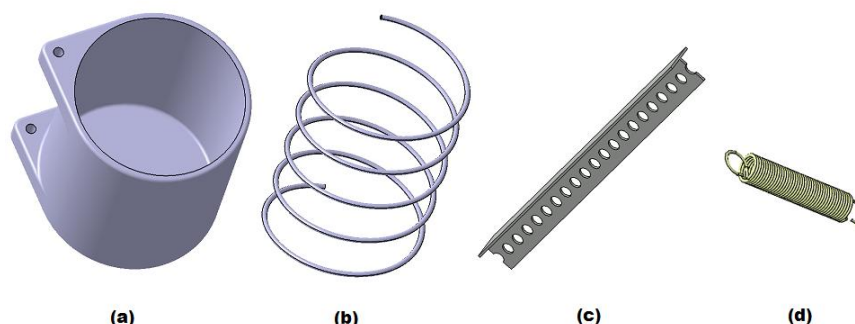


Figura 39- Principais componentes da solução de compressão por cabo: (a) Contentor de lixo, (b) espiral e cabo de aço, (c) perfil T e (d) mola de tracção.

O conjunto de componentes é montado dentro do contentor de resíduos que possui um veio vertical, servindo de enrolador do cabo de aço. Este é colocado dentro de uma espira helicoidal e preso ao veio nas suas extremidades. A espira passa pelos furos dos perfis “T” de modo que a compressão dos resíduos seja efectuada com maior área de contacto. Usam-se seis perfis de alumínio de forma “T”, de modo a reduzir o peso do conjunto. Estes são dispostos no contentor com intervalo de 60 graus entre eles. Na figura 40 é possível verificar as dimensões usadas na geometria dos perfis.

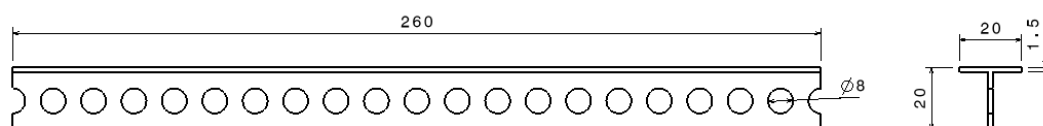


Figura 40- Dimensões do perfil "T", medidas em milímetros.

Assim, à medida que o cabo é enrolado, exerce-se uma força de esmagamento nos perfis. Para efectuar recolha do cabo utilizam-se as molas de tracção. Como forma de garantir o posicionamento correcto dos perfis, bem como a recolha do cabo, são usadas moldas de tracção que ligam cada perfil ao contentor³. Tal como se pode ver na figura 41, o posicionamento das molas deve ser dimensionado de forma a maximizar o volume disponível inicialmente e, ao mesmo tempo, possibilitar a recolha do cabo o mais rápido possível.

³ Neste caso foram usadas apenas duas molas por cada perfil. O que se pode revelar como insuficiente devido aos esforços provenientes do cabo de aço a que os perfis estão sujeitos. Assim, deve colocar-se 4 ou mais molas por cada perfil, de modo a garantir o posicionamento e retorno correcto do perfil.

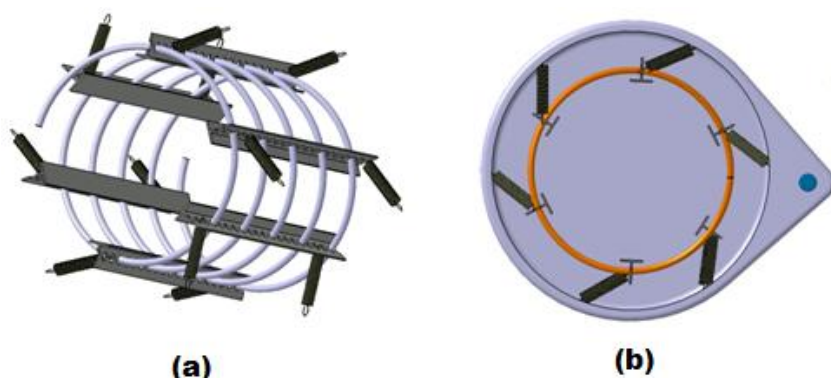


Figura 41- (a) posicionamento das molas em relação aos perfis e (b) posição inicial do sistema.

O movimento do cabo provém da rotação do veio vertical, o qual possui uma ligação a um mecanismo eléctrico aparafusador. A simplicidade deste sistema mecânico, figura 42 revela-se como uma vantagem, não só de nível estrutural e funcional, mas também de nível económico.

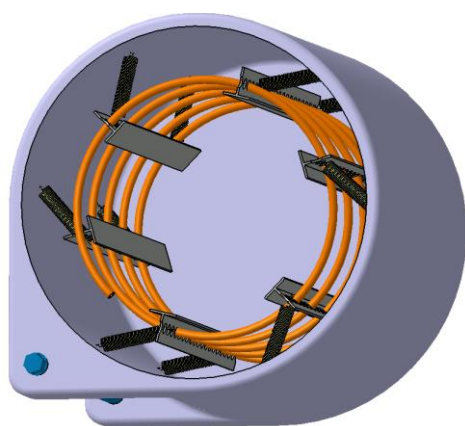


Figura 42- Solução de compressão por cabo.

Os componentes usados são simples, de fácil construção e disponibilidade no mercado. Todos os componentes encontram-se disponíveis em lojas de venda ao público como, por exemplo, o cabo de aço, as molas de tracção, os perfis de alumínio, etc. Estes têm a particularidade de serem de reduzido custo, o que torna este mecanismo viável e de possível construção. A principal desvantagem deste equipamento é a durabilidade do cabo de aço, que ao fim de algum tempo pode ser destruído. Contudo, o equipamento possui um sistema de fácil reposição permitindo a troca rápida do cabo.

Para este equipamento podiam ser usados outros materiais mantendo o mesmo princípio de funcionamento. Assim, poderia optar-se pelo uso de uma fita metálica do mesmo tipo que é usado em relógios de corda. Esta teria a mesma função do cabo de aço, mas eliminava ou diminuía a utilização das molas para proceder ao retorno do mesmo. A principal desvantagem de utilização deste material é o seu elevado custo. Contudo pode ser indicada como uma segunda solução para este equipamento utilizado.

Capítulo 4- Dimensionamentos e projecto

Depois de analisar as soluções estudadas, optou-se por desenvolver a solução de engrenamento centrado uma vez que apresenta maiores vantagens comparativamente às outras soluções estudadas.

4.1- Materiais a usar

Em todos os projectos de desenvolvimento de produto, o estudo dos materiais a usar para construção é de extrema importância, não só a nível estrutural como também económico. Deste modo, uma escolha correcta dos materiais a utilizar pode determinar o sucesso do projecto.

4.1.1- Vantagens e desvantagens dos diferentes materiais

Para a construção da solução escolhida, vários materiais podem ser usados como, por exemplo, aço, alumínio, polímeros, etc. Cada um destes materiais possui diferentes características, com diferentes vantagens e desvantagens.

De acordo com a geometria dos componentes e dos esforços a que estão sujeitos, a construção requer um material que garanta a sua durabilidade e fiabilidade. Os componentes construídos em aço têm maior resistência e durabilidade, tornando o sistema robusto e eficaz. O alumínio pode também ser uma escolha viável para alguns componentes. Este tem a vantagem de tornar as peças mais leves e de menor custo de fabrico, uma vez que é um material menos duro e resistente facilitando algumas operações de fabrico comparativamente com o aço.

4.1.2- Opções escolhidas

De entre os componentes que constituem o sistema escolhido, aquele que está sujeito a maiores esforços será o corpo exterior e os braços de transmissão de potência.

O corpo exterior é a estrutura principal deste mecanismo, uma vez que é o apoio de todos os outros componentes. Deste modo, deve ter uma estrutura capaz de suportar os esforços a ele aplicados. Para garantir essa propriedade optou-se por construir o corpo exterior em Aço. Como se pretende reduzir custo de construção, escolheu-se o aço de construção norma DIN CK45, o qual satisfaz as exigências dos esforços que terá de suportar. Na tabela 2 e 3 estão representadas algumas propriedades deste material.

Densidade [g/cm ³]	7,85
Módulo de elasticidade [GPa]	205
Coefficiente de Poisson	0,29
Dureza Rockwell C	4.40-20.5
Tensão limite elasticidade [MPa]	569

Tabela 2- Propriedades mecânicas do Aço CK45 ^[17].

Composição química [%]	
Carbono, C	0.420 - 0.480
Manganês, Mn	0.600 - 0.900
Silício, Si	0.150 - 0.350
Ferro, Fe	97.6 - 98.8

Tabela 3- Composição química do aço CK45 ^[17].

Os braços de transmissão de potência, tal como o corpo exterior, estão sujeitos a grandes esforços provocados pelo momento torsor aplicado à engrenagem a que está acoplado. Assim, este deve ser também construído em Aço CK45 de forma a garantir a fiabilidade da estrutura. O mesmo pode ser aplicado ao veio de transmissão e à cruzeta de suporte da cremalheira, que estão sujeitos ao binário produzido pelo conjunto motor/redutor e da transmissão pinhão/corrente/cremalheira.

Outros componentes podem ser construídos com diferentes materiais, uma vez que não estão sujeitos a elevados esforços como, por exemplo, as pás de compactação. Estas podem ser construídas em alumínio ou outro material, desde que a sua geometria se mantenha inalterada. O alumínio é uma solução possível para este componente, uma vez que, dependendo do tipo de alumínio escolhido, suporta as exigências aplicadas ao mesmo. Para manter as características de um aço de construção, seria necessário seleccionar um alumínio de grande qualidade, o que pressupõe um maior custo comparado com o aço escolhido. Assim, optou-se por construir as pás de compactação em Aço CK45 como forma de reduzir o preço final do projecto.

4.2- Selecção de componentes

De forma a reduzir o custo de fabrico e simplificar o desenvolvimento da solução, deve seleccionar-se alguns componentes disponíveis no mercado através de catálogos de fabricantes especializados.

4.2.1- Motor e redutor

De entre os vários fabricantes à escolha, optou-se pela empresa *RENOLD*[®], a qual possui um catálogo *online* ^[18]. Escolheu-se o conjunto da figura 43 de acordo com as exigências do projecto. Ou seja, uma velocidade de rotação baixa mas capaz de produzir o binário necessário para a compactação dos resíduos. Na tabela 4 encontram-se descritas as principais características do conjunto motor/redutor escolhido.

Designação	JPM22
Potencia [KW]	0,26
Velocidade de rotação [RPM]	28
Binário [N.m]	90

Tabela 4- Especificações da unidade propulsora ⁴ ^[18].

⁴ Os valores descritos na tabela 4 são referentes ao movimento do veio à saída do redutor.

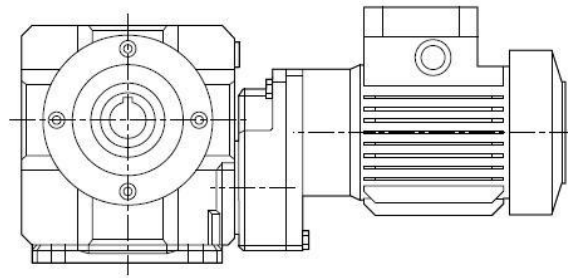


Figura 43- Conjunto motor/redutor escolhido ^[18].

4.2.2- Conjunto cremalheira, pinhão e corrente

Com o valor de velocidade de rotação à saída do redutor, escolhe-se o conjunto de transmissão de movimento à engrenagem. Admite-se que o valor de velocidade de rotação final (w_f) pretendido é de 10 RPM, uma vez que este sistema tem de operar a uma velocidade baixa. A partir deste valor, tenta-se alcançar o valor de relação de transmissão (u) necessária para reduzir a velocidade à saída do redutor (W_{reductor}) através da equação seguinte ^[18]:

$$w_f = \frac{W_{\text{reductor}}}{u} \text{ [RPM]} \quad (4.1)$$

$$w_f = \frac{28}{3} = 9,333 \approx 10 \text{ RPM}, \quad (4.2)$$

onde W_{reductor} é dado pela tabela 4. Pela equação 4.2, pode concluir-se que a relação de transmissão (u) é igual a 3.

Através do catálogo da *RENOLD* ^[19], e para este tipo de componentes, deve escolher-se um sistema de transmissão por corrente tendo em conta a relação de transmissão calculada anteriormente e a velocidade de rotação final pretendida. Na figura 44 é possível observar o tipo de componente pretendido. A tabela 5 possui as características geométricas dos elementos em estudo.

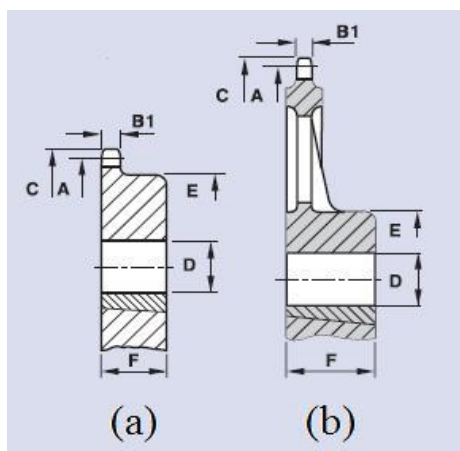


Figura 44- (a) Pinhão e (b) cremalheira escolhidos ^[19].

	Pinhão (a)	Cremalheira (b)
Passo [mm]	9,525	9,525
Diâmetro (C) [mm]	37,5	119
Nº de dentes	11	38
Largura dente (B1) [mm]	5,3	5,3
Diâmetro máximo de furo (D) [mm]	14	42
Diâmetro (E) [mm]	22	70

Tabela 5- Dimensões da cremalheira e pinhão ^[19].

O pinhão da figura 44 (a) de menores dimensões disponível no catálogo tem um diâmetro C de 37,5 mm e possui 11 dentes com passo de 9,525 mm. Da relação de transmissão chega-se ao valor de diâmetro da cremalheira (ϕ_{cr}) a utilizar ^[19]:

$$\phi_{cr} = 37,5 \times 3 = 112,5 \text{ mm} \quad (4.3)$$

Assim, opta-se por uma cremalheira indicada na figura 44 (b) que cumpra a relação de transmissão e que se encontre disponível no catálogo do fabricante. A cremalheira com o valor mais próximo do calculado anteriormente, possui um diâmetro C de 119 mm e 38 dentes. Esta será a cremalheira a utilizar no sistema em estudo. Deste modo $\phi_{cr} = 119 \text{ mm}$

Para transmitir o binário produzido até à cremalheira, é necessário escolher uma corrente de acordo com os esforços aplicados ao sistema de transmissão. Utilizando o catálogo *RENOLD* ^[20], optou-se pela corrente da figura 45 com as características descritas na tabela 6.

Dimensão	Valor
Passo (A) [mm]	9,525
Largura (H1) [mm]	9,10
Altura (D) [mm]	9,0

Tabela 6- Dimensões principais da corrente ^[19].

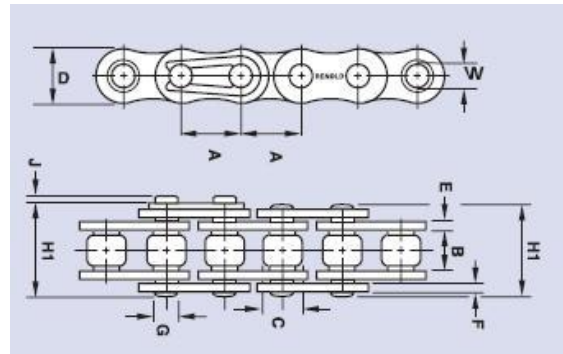


Figura 45- Corrente escolhida para o sistema a dimensionar ^[19].

A corrente escolhida suporta esforços até 8900 N ^[19]. Deste modo, deve verificar-se o valor de binário que é aplicado na cremalheira para determinar se o limite de tensão da corrente é alcançado. O binário a que a cremalheira (B_{cr}) está sujeito relaciona-se directamente com o binário à saída do redutor (B_r) e com a razão de transmissão (u) definida anteriormente ^[19].

$$B_{cr} = B_r \times u \Leftrightarrow \quad (4.4)$$

$$\Leftrightarrow B_{cr} = 90 \times 3 = 270 \text{ N.m.} \quad (4.5)$$

Conhecendo o binário aplicado na cremalheira e o seu diâmetro (ϕ_{cr}), é possível calcular o valor da força tangencial (F_t) aplicada no contorno da mesma ^[20].

$$B_{cr} = F_t \times \frac{\phi_{cr}}{2} \Leftrightarrow \quad (4.6)$$

$$\Leftrightarrow F_t = \frac{B_{cr}}{\frac{\phi_{cr}}{2}} \Leftrightarrow \quad (4.7)$$

$$\Leftrightarrow F_t = \frac{270}{0,0595} = 4537,8 \text{ N} < 8900 \text{ N} \quad (4.8)$$

Uma vez que a força aplicada é inferior ao limite de ruptura da corrente, pode concluir-se que a escolha de corrente é viável.

4.3- Dimensionamento de componentes

Inicialmente, para o dimensionamento de componentes, é necessário determinar várias características relativas ao movimento que o sistema mecânico produzirá.

Supondo que o sistema de compactação opera 2 vezes por dia a uma velocidade de rotação igual a 10 RPM, e que a engrenagem roda 1/12 de volta (30°), determina-se o número de ciclos efectuados pelo compactador por ano (n_c).

$$2 \text{ compactações/dia} \times 365 \text{ dias/ano} = 730 \text{ compactações/ano} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} n_c &= 730 \text{ compactações/ano} \times 10 \text{ RPM} \times \frac{1}{12} \times 60 \text{ minutos} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow n_c = 36500 \text{ ciclos/ano} \end{aligned} \quad (4.10)$$

4.3.1- Engrenagens

O principal passo do dimensionamento da engrenagem é o cálculo do módulo de engrenamento (m_n)^[20],

$$m_n = 267 \times \sqrt[3]{\left(\frac{\cos \beta}{Z_1}\right)^2 \times \frac{P}{C_b \times n_1 \times K_{adm}} \times \frac{u+1}{u}}, \quad (4.11)$$

em que β representa o ângulo de inclinação do dentado, Z_1 o número de dentes da primeira roda dentada, C_b factor de dimensionamento, K_{adm} , factor de resistência, n_1 a velocidade de rotação da roda dentada em RPM, u relação de transmissão desejada e P a potência de engrenamento em kilowatts. Para proceder ao cálculo do módulo de engrenamento, é necessário determinar, em primeiro lugar, o factor de resistência K_{adm} o qual depende de vários factores,

$$K_{adm} = \frac{1}{K_b} C_2 C_3 C_4 C_5 C_6, \quad (4.12)$$

em que, K_b é um factor de serviço que depende de outras variáveis como, por exemplo, o factor de carga (K_A) e C_2, C_3, C_4, C_5 e C_6 são coeficientes de dimensionamento a calcular. K_b é definido por

$$K_b = \frac{K_A \times Z_R}{Z_N^2}. \quad (4.13)$$

Z_R e Z_N são factores de fiabilidade e duração respectivamente. K_A varia com o nível de flutuação de choque a jusante e a montante da engrenagem. O seu valor é retirado da tabela 7. Tendo em conta o tipo de engrenagem que se pretende dimensionar admitiu-se que o choque é uniforme, por parte do accionamento e da máquina accionada. O valor de K_A é, assim, tomado como 1.

Máquina Accionada				
Accionamento	U	L	M	H
U	1	1.25	1.50	1.75
L	1.10	1.35	1.60	1.85
M	1.25	1.50	1.75	2.00
H	1.50	1.75	2.00	≥2.25

Tabela 7- Valores de K_A , de acordo com o tipo de choque do engrenamento a dimensionar ^[20].

O coeficiente Z_R , é um factor de fiabilidade ao qual é atribuído o valor de 1, o que corresponde a uma fiabilidade de 99%. Para além do factor de carga, o cálculo do valor de K_{adm} depende também do factor de duração Z_N ^[20]. Este relaciona o número de ciclos (N), que a engrenagem opera com os coeficientes de dimensionamento m e N_r retirados da tabela 8.

$$Z_N = \left(\frac{N_r}{N}\right)^m \quad (4.14)$$

Estado	N_r	Ciclos	m
Têmpera ou cementação	$5 \cdot 10^7$	$10^5 \leq N \leq N_r$	0.0756
		$N_r \leq N \leq 10^{10}$	0.0307
Nitruração longa	$2 \cdot 10^6$	$10^5 \leq N \leq N_r$	0.0875
		$N_r \leq N \leq 10^{10}$	0.0191
Nitruração curta	$2 \cdot 10^6$	$10^5 \leq N \leq N_r$	0.0318
		$N_r \leq N \leq 10^{10}$	0.0191

Tabela 8- Valores de m e N_r em função do tipo de engrenagem escolhido ^[20].

Tendo em conta a engrenagem em estudo, então

$$Z_N = \left(\frac{5 \times 10^7}{36500}\right)^{0,0756} = 1,726. \quad (4.15)$$

Assim, é possível calcular o factor de serviço K_b

$$K_b = \frac{1}{1,726^2} = 0,3356. \quad (4.16)$$

Tal como descrito na equação 4.12, é necessário determinar os coeficientes C_2 , C_3 , C_4 , C_5 e C_6 . O factor geométrico C_2 é retirado da tabela 9 que varia em função do ângulo de inclinação do dentado. No caso em estudo, optou-se por engrenagem de dentado recto uma vez que a relação de transmissão usada ($u=1:3$) é baixa. Assim β será igual a 0 graus e o factor C_2 igual a 0,21.

β (graus)	0	5	10	15	20	25	30
C_2	0.21	0.24	0.26	0.27	0.28	0.29	0.31

Tabela 9- Valor do factor geométrico em função da inclinação do dentado escolhido ^[20].

Para determinar o valor dos coeficientes C_3 e C_4 recorre-se aos valores dados na tabela 10.

Dentado	Qualidade ISO	C_3	C_4
Recto	5 e 6	0.905	0.760
	7	0.782	0.741
Helicoidal	5 e 6	0.905	0.760
	7	0.812	0.673

Tabela 10- Valores dos coeficientes C_3 e C_4 ^[20].

O factor C_3 refere-se aos efeitos dinâmicos resultantes da velocidade e dos erros dimensionais e geométricos e o factor C_4 á distribuição de carga. No caso em estudo, admite-se dentado recto com qualidade ISO 7. O que resulta no valor de $C_3 = 0,782$ e $C_4 = 0,741$. Os factores C_5 e C_6 referem-se à resistência da engrenagem. C_5 é um factor de resistência em função da tensão de ruína à fadiga superficial (σ_{Hlim}) e um factor de relação de dureza (C_w),

$$C_5 = \left(\frac{\sigma_{Hlim} \times C_w}{C_e} \right)^2, \quad (4.17)$$

em que o valor do factor de relação de dureza é igual a 1 e C_e é igual a $190 \text{ MPa}^{1/2}$. Estes valores são escolhidos tendo em atenção o caso em estudo. O pinhão a dimensionar é sujeito aos tratamentos de têmpera e revenido. Da tabela 11 é possível escolher-se o valor da tensão de ruína à fadiga superficial (σ_{Hlim}),

Aços	Dureza da roda	σ_{Hlim} (MPa)
Têmpera e Revenido	250 HB	690
	280 HB	730
	350-360 HB	850
Têmpera superficial	53-57 HRC	1200
Nitruração curta duração	52-56 HRC	950
Nitruração longa duração	58-60 HRC	1250
Cementação- alta liga	58-60 HRC	1500

Tabela 11- Valores da tensão de ruína à fadiga superficial ^[20].

Assim,

$$C_5 = \left(\frac{690}{190} \right)^2 = 13,2. \quad (4.18)$$

Tal como o valor de C_5 , o factor C_6 provém da têmpera e revenido da engrenagem a dimensionar. Assim, C_6 é igual a 0,72. Depois da determinação de todos os factores é possível calcular o valor de K_{adm} ,

$$K_{adm} = \frac{1}{0,3356} \times 0,21 \times 0,782 \times 0,741 \times 13,2 \times 0,72 = 3,445. \quad (4.19)$$

Como se pretende uma rotação reduzida da engrenagem, a potência terá também de ser reduzida e de acordo com a potência disponível à saída do redutor. Recorrendo novamente ao catálogo *RENOLD*^[17], a potência de engrenamento disponível para a relação de transmissão escolhida (u), é de 0,25 KW. Assim, substituindo os valores na equação 4.11, calcula-se o valor do módulo de engrenamento, através de

$$m_n = 267 \times \sqrt[3]{\left(\frac{\cos 0}{17}\right)^2 \times \frac{0,25}{10 \times 10 \times 3,445} \times \frac{3+1}{3}} = 3,99. \quad (4.20)$$

O módulo de engrenamento de 3,99 pode ser aproximado para 4 uma vez que o valor do mesmo deve ser aproximado ao inteiro mais próximo. Com o valor do módulo de engrenamento é possível calcular a largura da roda b através da equação seguinte:

$$b = C_b \times m_n = 10 \times 4 = 40 \text{ mm}. \quad (4.21)$$

De modo a concluir se o dimensionamento efectuado é viável, é necessário calcular a potência admissível da engrenagem (P_{adm}). Esta relaciona o módulo de engrenamento (m_n) com a relação de transmissão (u) que se pretende.

$$P_{adm} = 5.236 \times 10^{-8} \times n_1 \times \frac{u}{u+1} \times m_n^3 \times \left(\frac{Z_1}{\cos \beta}\right)^2 \times C_b \times K_{adm} \text{ [kW]} \quad (4.22)$$

$$P_{adm} = 5.236 \times 10^{-8} \times 10 \times \frac{3}{3+1} \times 4^3 \times \left(\frac{17}{\cos 0}\right)^2 \times 10 \times 2,77 = 0,2012 \text{ kW}. \quad (4.23)$$

Como $0,2012 < 0,25 \text{ kW}$ então, a engrenagem dimensionada consegue suportar a potência à saída do redutor. Consequentemente, pode concluir-se que a engrenagem é viável.

4.3.2- Veio

Para proceder ao dimensionamento do diâmetro do veio (d) utiliza-se a equação 4.24^[20],

$$d = \sqrt[3]{\frac{C_s \times 32}{\pi \times \sigma_0} \times \sqrt{M_b^2 + \frac{3}{4} M_t^2}}, \quad (4.24)$$

onde C_s representa o coeficiente de segurança, σ_0 a tensão de cedência do material, M_b os momentos flectores e M_t o momento tisor aplicado ao veio. Na figura 46 estão representados os momentos mencionados anteriormente.

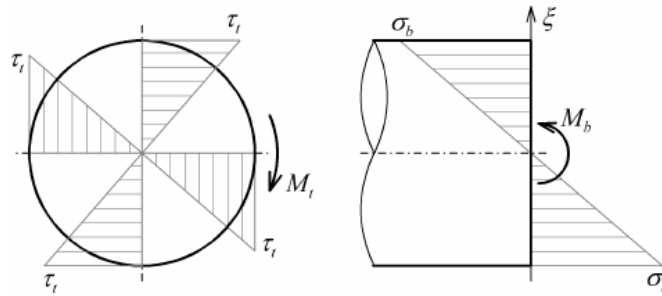


Figura 46- Diagramas de momentos aplicados a veios ^[20].

No caso em estudo, a engrenagem e o veio estão colocados concetricamente com a estrutura e seus apoios. Assim, o vector de esforços é nulo restando apenas o momento tisor que provém da cremalheira ($M_t=270$ Nm). Admite-se que o valor do coeficiente de segurança é igual a 1,25 e o valor da tensão de cedência do Aço CK45 igual a 300 MPa. Substituindo a equação 4.24 pelos valores anteriormente calculados obtém-se,

$$d = \sqrt[3]{\frac{1,25 \times 32}{\pi \times 300 \times 10^6}} \times \sqrt{\frac{3}{4} \times 270^2} = 0,021 \text{ m} = 21 \text{ mm.} \quad (4.25)$$

Tendo em conta que o diâmetro da cremalheira é de 70 mm, o diâmetro do veio de 21 mm é aceitável.

De forma a garantir que o veio não escorrega na engrenagem, é necessário dimensionar uma ligação com chaveta para fixar estes dois componentes. Na figura 47 descreve-se o tipo de fixação.

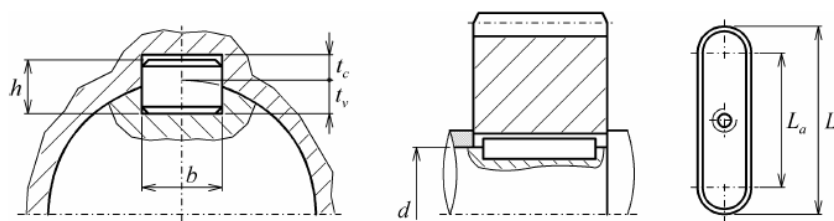


Figura 47- Ligação com chaveta ^[20].

Assim, recorre-se a medidas de chavetas *standard* que são aplicadas às medidas do veio dimensionado anteriormente. Através da tabela 12, escolhe-se a possível chaveta a utilizar, de entre as apresentadas:

Chaveta Corrente					Chaveta fina				
d	b	h	t_v	t_c	h	t_v	t_c	L_{\min}	L_{\max}
$10 < d \leq 12$	4	4	2.5	1.8				8	45
$12 < d \leq 17$	5	5	3	2.3	3	1.8	1.4	10	56
$17 < d \leq 22$	6	6	3.5	2.8	4	2.5	1.8	14	70
$22 < d \leq 30$	8	7	4	3.3	5	3	2.3	18	90
$30 < d \leq 38$	10	8	5	3.3	6	3.5	2.8	22	110
$38 < d \leq 44$	12	9	5	3.3	6	3.5	2.8	28	140
$44 < d \leq 50$	14	10	5.5	3.8	6	3.5	2.8	36	160
$50 < d \leq 58$	16	11	6	4.3	7	4	3.3	45	180
$58 < d \leq 65$	18	12	7	4.4	7	4	3.3	50	200
$65 < d \leq 75$	20	13	7.5	4.9	8	5	3.3	56	220
$75 < d \leq 85$	22	14	9	5.4	9	5.5	3.8	63	250
$L = 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 63, 71, 80, 100, 125, 140, \dots$									

Tabela 12- Valores geométricos de chavetas standard ^[20].

Para o dimensionamento deste elemento é necessário saber-se que,

$$q = \frac{2.M_t}{d.(h-t_v).L_a} \leq 50 \text{ MPa}, \quad (4.26)$$

$$L \geq L_a + b, \quad (4.27)$$

onde q representa a tensão de esmagamento média, d o diâmetro do veio, h a altura da chaveta, t_v a altura da cavidade do veio, L_a o comprimento da chaveta, M_t o momento torsor aplicado ao veio, b a largura da chaveta e L o comprimento da chaveta normalizado. O dimensionamento exige que a tensão de esmagamento média não ultrapasse os 50 MPa. Para minimizar erros de montagem e os consequentes picos de tensões usa-se a equação,

$$\frac{L_a}{d} < 2. \quad (4.28)$$

Tendo em conta o diâmetro do veio de 21 mm, optou-se pela chaveta com as dimensões indicadas na tabela 13.

Chaveta corrente	Valor [mm]
Largura (b)	6
Altura (h)	6
Altura da cavidade do veio (t_v)	3,5

Tabela 13- dimensões principais da chaveta escolhida ^[20].

Substituindo estes valores na equação 4.26, verifica-se a viabilidade da escolha da chaveta. Assim,

$$q = \frac{2 \times 270}{21 \times (6 - 3,5) \times L_a} \leq 50 \text{ MPa} \Leftrightarrow \quad (4.29)$$

$$\Leftrightarrow q = \frac{10,3}{L_a} \leq 50 \text{ MPa} \Leftrightarrow \quad (4.30)$$

$$\Leftrightarrow L_a \geq 0,206 \text{ mm}. \quad (4.31)$$

Este valor verifica-se pela equação:

$$\frac{L_a}{d} < 2 \Leftrightarrow \frac{0,206}{21} < 2 \Leftrightarrow \quad (4.32)$$

$$\Leftrightarrow 0,0098 < 2 \quad (4.33)$$

A expressão 4.33 permite concluir que a chaveta escolhida é viável. Tendo o valor do comprimento da chaveta (L_a) como referencia, procede-se ao cálculo do valor do comprimento total da chaveta (L). Este é dado por

$$L \geq 0,206 + 6 \rightarrow L \geq 6,206 \text{ mm}. \quad (4.34)$$

Como os comprimentos das chavetas são normalizados ^[20], é necessário escolher o valor inteiro *standard* mais próximo. Recorrendo à tabela 12, o valor mínimo mais próximo é igual a 14 mm.

4.4- Cálculo de desempenho do equipamento

Para além dos cálculos de dimensionamento é necessário calcular outras variáveis de elevada importância para o estudo das soluções desenvolvidas como, por exemplo, a força de compactação e a razão volúmica de compactação máxima do equipamento.

4.4.1- Razão volúmica de compactação máxima

Com a geometria definida na secção anterior, pode calcular-se a capacidade de compactação máxima teórica deste sistema a dimensionar. Tendo os valores de volume disponível antes e depois da compactação (figura 48) é possível calcular a sua relação.

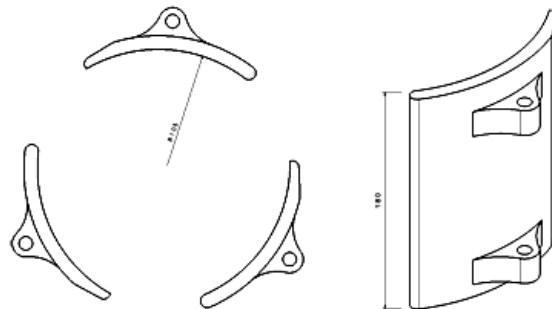


Figura 48- Dimensão e disposição inicial das pás de compactação.

No cálculo do volume disponível antes da compactação, admitiu-se que a disposição das pás de compactação forma um cilindro de raio (r) igual a 105mm e altura (h) igual a 180mm. Deste modo, vem:

$$V_{\text{inicial}} = A_{\text{base}} \times h = \pi r^2 \times h =$$

$$= \pi \times 0,105^2 \times 0,180 = 0,0062 \text{ m}^3 = 6,2 \text{ l.} \quad (4.36)$$

Tal como no caso anterior, no cálculo do volume final, aproximou-se a disposição das pás de compactação a uma forma geométrica conhecida. A posição final foi aproximada a um prisma triangular com as dimensões descritas na figura 49.

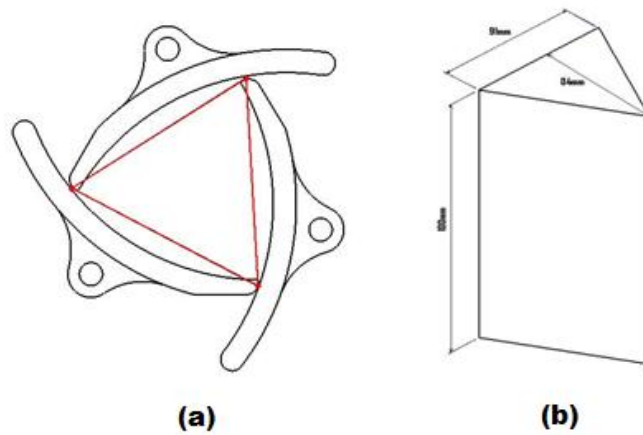


Figura 49- (a) Posição inicial das pás de compactação e (b) volume final resultante.

Tendo em conta as medidas da geometria resultante, calculou-se o volume final de compactação (V_{final}) através da fórmula:

$$V_{\text{final}} = A_{\text{base}} \times h = \quad (4.37)$$

$$= \frac{0,091 \times 0,084}{2} \times 0,180 = 6,88 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (4.38)$$

$$V_{\text{final}} = 6,88 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (4.39)$$

Com os valores do volume inicial e final calculados, pode determinar-se a razão de compactação (R_{comp}) entre eles:

$$R_{\text{comp}} = \frac{V_{\text{inicial}}}{V_{\text{final}}} = \frac{6,2}{0,688} = 9,01 \approx 9 \quad (4.40)$$

Pode-se concluir que o volume máximo disponível no final da compactação é 9 vezes inferior ao volume antes da compressão.

4.4.2- Análise volumétrica

Como forma de avaliar o equipamento desenvolvido, efectua-se uma análise volumétrica de modo a estabelecer uma relação entre os volumes inicial e final, disponíveis para a compactação. Para determinar esta relação é necessário calcular os volumes indicados recorrendo à geometria do equipamento. Uma vez que o contentor de lixo é cilíndrico⁵, calcula-se o seu volume total (V_t) através das medidas representadas na figura 50 (a).

$$V_t = A_b \times h \Leftrightarrow \quad (4.41)$$

$$\Leftrightarrow V_t = \pi \times \frac{250^2}{4} \times 300 = 14726215.56 \text{ mm}^3 = 14,7 \text{ l} \quad (4.42)$$

Do volume inicial disponibilizado pelo contentor, determina-se a percentagem de ocupação do equipamento através do volume (V_{inicial}) antes da compactação determinado na secção 4.4.1.

$$\%_{\text{ocupação}} = \left(1 - \frac{V_{\text{inicial}}}{V_t}\right) \times 100\% \Leftrightarrow \quad (4.43)$$

$$\Leftrightarrow \%_{\text{ocupação}} = \left(1 - \frac{6.2}{14,7}\right) \times 100\% = 57,8 \% \quad (4.44)$$

O volume disponibilizado pelo contentor sofre uma redução de 57,8 % devido à colocação do sistema mecânico desenvolvido ou seja, apenas 42,2 % do volume do contentor é aproveitado para a compactação. Dos 15 l disponíveis são retirados 8.8 l para a colocação do equipamento, restando para a compactação 6.2 l. Tendo em conta a razão de compactação do equipamento, obtém-se um ganho de 5.5 l.

De modo a avaliar o cálculo efectuado, compara-se este com o valor equivalente dos equipamentos existentes no mercado utilizando o mesmo método de análise. Assim, tendo em conta a geometria dos equipamentos disponíveis no mercado de dimensões representadas na figura 50 (b), calcula-se a percentagem de ocupação destes equipamentos em relação ao seu volume total⁶.

$$V_t = a \times b \times c \Leftrightarrow \quad (4.45)$$

$$\Leftrightarrow V_t = 900 \times 380 \times 610 = 208,6 \text{ l} \quad (4.46)$$

Tendo em conta que o volume disponível para compactação deste equipamentos é de 40 litros, então a percentagem de ocupação é dada por:

$$\%_{\text{ocupação}} = \left(1 - \frac{V_{\text{inicial}}}{V_t}\right) \times 100\% \Leftrightarrow \quad (4.47)$$

⁵ O contentor utilizado está referenciado como contentor de 15 l pela marca.

⁶ Os valores referentes aos compactadores disponíveis no mercado encontram-se nas secções 2.1.2 e 2.1.3 do capítulo 2.

$$\Leftrightarrow \%_{\text{ocupação}} = \left(1 - \frac{40}{208,6}\right) \times 100\% = 80,8 \%. \quad (4.48)$$

Do cálculo anterior pode concluir-se que o volume total do equipamento sofre uma redução de 80,8 % ou seja, apenas 19,2 % do volume total do equipamento é utilizado para a compactação dos resíduos.

Comparando o valor de ocupação dos equipamentos conclui-se que a percentagem de volume disponível para compactação através do equipamento desenvolvido, é aproximadamente o dobro do disponível no caso dos equipamentos existentes. Esta diferença deve-se à utilização do sistema de compactação radial que, tal como referido na secção 1.3, produz uma capacidade de compactação de relação quadrática com o raio do contentor, enquanto os equipamentos do mercado produzem uma compactação linear.

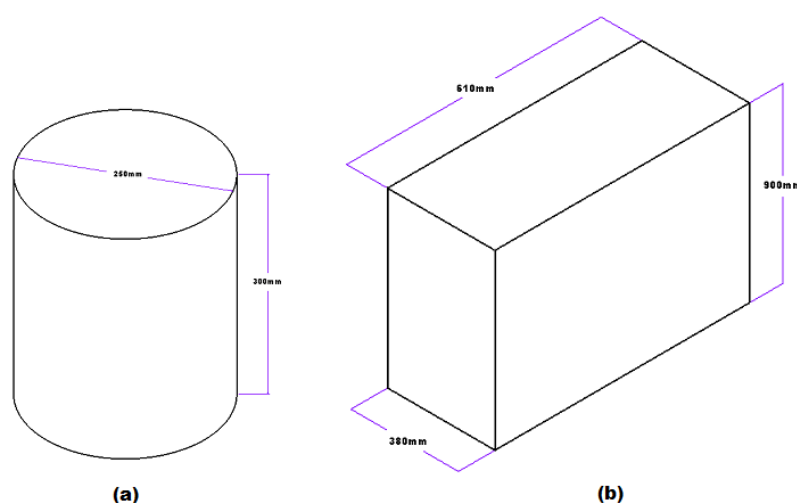


Figura 50- Geometria do equipamento (a) desenvolvido e (b) existente no mercado.

Da análise volumétrica é possível concluir que o equipamento desenvolvido possui maior volume relativo disponível para compactação em relação aos equipamentos existentes. Contudo este valor pode ainda ser melhorado recorrendo à optimização dos vários componentes dimensionados de forma a melhorar a sua geometria e funcionamento.

4.4.3- Força de compactação e momento torsor

A força de compressão que é exercida sobre o lixo através das pás de compactação é calculada a partir do movimento disponibilizado pelo conjunto motor/ redutor. Deste modo é necessário calcular, em primeiro lugar, o momento torsor produzido pelo sistema de transmissão. Na secção 4.2.1 foi seleccionado o motor redutor a utilizar. Este produz um binário final de 90 Nm. Como à saída do redutor está acoplado o sistema de transmissão por corrente, podemos calcular a relação de binários entre eles. O conjunto pinhão e cremalheira possuem uma relação de transmissão de 1:3 ou seja, o binário produzido na cremalheira é 3 vezes superior ao proveniente do pinhão e do redutor, ou seja 270 Nm. A cremalheira e a roda dentada estão ligadas através do suporte em

forma de cruz e pelo veio, tal como descrito na figura 51. Como estes componentes estão ligados concentricamente entre eles, estes possuem um binário equivalente.

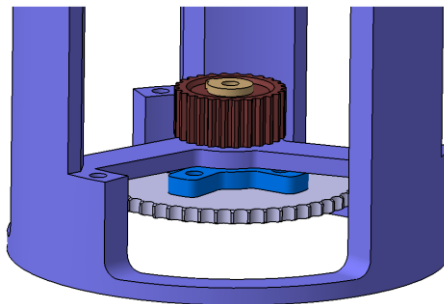


Figura 51- Ligação entre a cremalheira, suporte em cruz, veio e engrenagem.

A roda de dentada e a engrenagem do braço de transmissão, figura 52, têm uma relação de transmissão de 1:3, o que resulta um binário do braço 3 vezes superior ao da roda dentada.

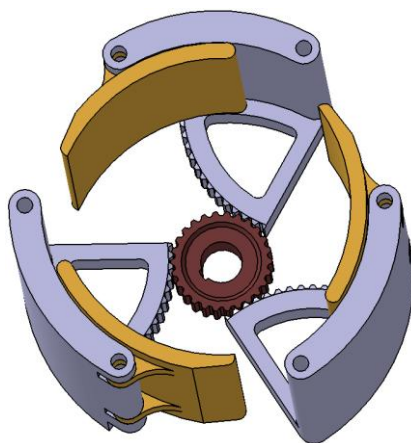


Figura 52- Engrenamento entre roda dentada e braços de transmissão.

Como se pretende calcular a força de uma das pás de compactação, o binário é dividido pelos 3 braços de compactação. Logo, o binário produzido em cada braço de transmissão é de 270 Nm. Na figura 53, observa-se o tipo de ligação entre o braço de transmissão e a pá de compactação.

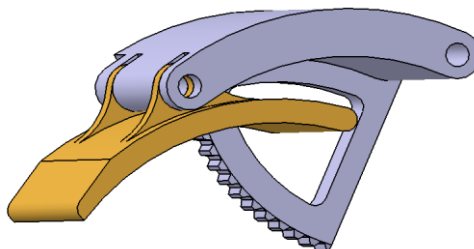


Figura 53- Ligação tipo dobradiça entre o braço de transmissão e a prensa de compactação.

Conhecendo o binário (M_t) e o comprimento do braço (D), pode calcular-se a força de compressão (F_t) aplicada sobre o lixo.

$$M_t = F_t \times D \text{ [N.m]} \quad (4.49)$$

$$\Leftrightarrow F_t = \frac{M_t}{D} \text{ [N]} \quad (4.50)$$

Admitindo-se que o braço é recto e de comprimento 115 mm até ao apoio da pá,

$$F_t = \frac{270}{0,115} = 2347,8N \cong 2,3 \text{ kN}. \quad (4.51)$$

Comparando o valor de força desenvolvida no sistema com a força de compressão dos equipamentos existentes no mercado, pode concluir-se que o valor de força destes é muito superior. Esta diferença deve-se ao tipo de mecanismos de compactação usados por cada um deles. Os compactadores existentes no mercado utilizam sistemas hidráulicos os quais são capazes de desenvolver maiores forças de compressão. No caso do equipamento desenvolvido, utiliza-se um sistema mecânico o qual disponibiliza menor força de compressão. Uma vez que esta depende do binário disponibilizado pelo motor/redutor, o seu valor pode ser modificado consoante a escolha de motor.

Capítulo 5- Testes e análise numérica

5.1- Utilização do software de simulação CATIA

Neste projecto é usado o software CATIA V5 para desenho das peças que constituem o mecanismo. Este software, para além do desenho 3D, possibilita também a simulação de movimentos e análise numérica de tensões e deformações em regime elástico dos componentes sujeitos a diversos esforços. O processo de simulação começa pela definição dos constrangimentos que a peça contém como, por exemplo, os apoios da estrutura ou outro tipo de restrição ao movimento. O passo seguinte refere-se aos esforços aplicados à peça como, por exemplo, momentos e forças. Em seguida o software processa os dados e devolve os resultados da simulação de acordo com as imposições iniciais. Desta simulação podem retirar-se várias conclusões acerca da viabilidade da forma dos componentes e do seu movimento. Assim, as dimensões e geometria das peças podem ser alteradas de modo a evoluir até à solução ideal para o caso em estudo. Deste modo obtém-se o projecto optimizado.

5.1.1- Análise numérica de tensões e deformações

Como anteriormente referido, o programa CATIA V5 é utilizado para efectuar a análise numérica a alguns componentes que estão sujeitos a determinados esforços. Deste modo, deve analisar-se em primeiro lugar o sistema mecânico no geral e determinar quais os componentes que estão sujeitos a maiores esforços. Tendo em conta o movimento do sistema, pode dizer-se que as peças que sofrem maiores esforços são o braço de transmissão de movimento e o corpo exterior.

Na figura 54 (a) pode observar-se as características iniciais impostas ao braço de transmissão. Para efectuar a análise, assumiu-se que a peça não possui liberdade de movimento ao longo dos seus eixos, enquanto a rotação em torno do eixo principal é permitida. Para além das restrições, esta peça contém duas cargas impostas a quando do movimento. Na extremidade inferior, esta peça está sujeita a uma força F_A tangencial à superfície produzida pelo binário desenvolvido na transmissão e de valor 3,176 kN. A força F_B representa o par acção reacção da força que é aplicada sobre o lixo e tem o valor de 2,35 kN. Esta força provém do binário desenvolvido pela engrenagem que transmite a força necessária para as pás de compactação. Depois de representadas as restrições e cargas, o programa procede à discretização da peça em elementos finitos os quais podem assumir geometrias como, por exemplo, tetraédros ou hexaédros. A representação da malha utilizada na análise de tensões e deformações do braço de transmissão pode ser observada na figura 54 (b).

Da figura 55 (a) conclui-se que a tensão de Von Mises atinge o valor máximo de 20,7 MPa. Comparando a tensão de Von Mises com a tensão limite de elasticidade do material (aço CK45)⁷, conclui-se que a peça está sobredimensionada uma vez que 20,7 MPa representa 3,6 % do limite de tensão que o material suporta.

⁷ Tabela 2 do capítulo 4, secção 4.1.2.

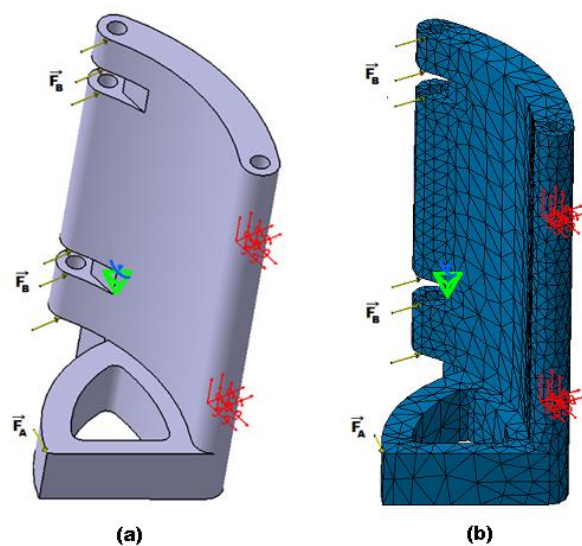


Figura 54- (a) Esforços e constrangimentos iniciais do braço de transmissão e (b) malha de elementos finitos

O sobredimensionamento da peça permite que se efectue a optimização da geometria da mesma, de modo a maximizar o volume disponível no início da compactação. O deslocamento sofrido pela peça, figura 54 (b), atinge o valor máximo de 0,0275 milímetros na zona de aperto do braço com a pá de compactação.

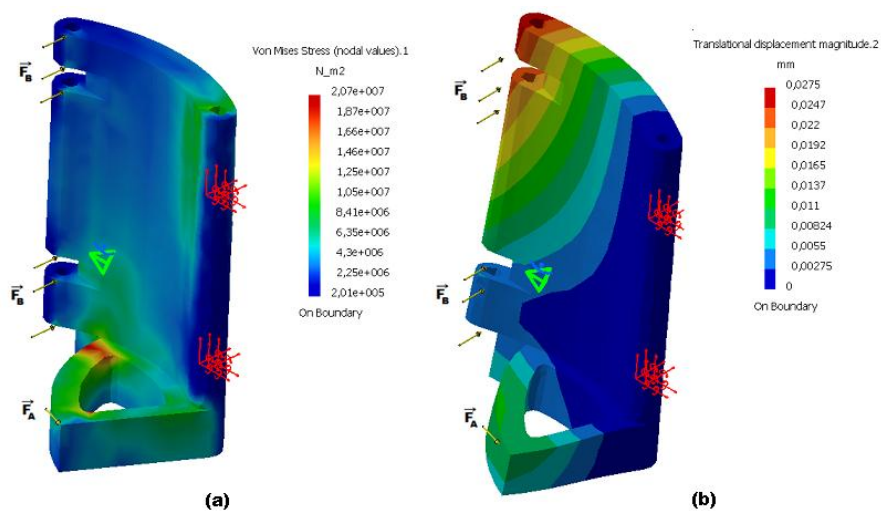


Figura 55- (a) Tensão equivalente de Von Mises e (b) deslocamento sofrido pelo braço.

Para analisar os esforços exercidos no corpo exterior é necessário determinar as forças a que este está sujeito. Tendo em conta a geometria do corpo e o movimento do sistema, verifica-se que os apoios, onde os braços de transmissão estão fixos, sofrem os maiores esforços. Estes são resultantes das forças aplicadas nos braços. Deste modo é necessário calcular, em primeiro lugar, o somatório das forças aplicadas ao braço de transmissão de modo a retirar o valor da força F_C aplicada no corpo exterior. A figura 56 apresenta o tipo de forças aplicadas ao braço.

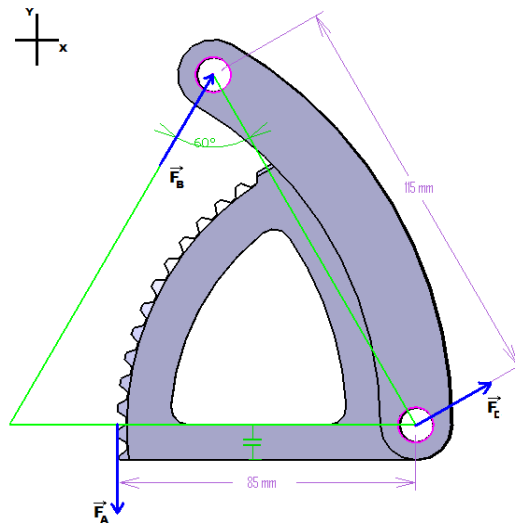


Figura 56- Forças aplicadas ao braço de transmissão.

Uma vez que o sistema tem uma rotação muito reduzida e constante, os cálculos podem ser aproximados a um caso estático em que o somatório das forças aplicadas é zero. Assim, de acordo com o sistema de eixos representado na figura 55 determina-se o valor da força F_C a partir de:

$$\sum F_x = 0 \Leftrightarrow \quad (5.1)$$

$$\Leftrightarrow F_B \sin 30 + F_{Cx} = 0 \Leftrightarrow \quad (5.2)$$

$$\Leftrightarrow F_{Cx} = -F_B \sin 30 = -2350 \times 0.5 = -1175 \text{ N} \quad (5.3)$$

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow \quad (5.4)$$

$$\Leftrightarrow -F_A + F_B \cos 30 + F_{Cy} = 0 \Leftrightarrow \quad (5.5)$$

$$\Leftrightarrow F_{Cy} = F_A - F_B \cos 30 = 3756 - 2350 \times 0.866 = 1140.84 \text{ N} \quad (5.6)$$

$$F_C = \sqrt{F_{Cx}^2 + F_{Cy}^2} \Leftrightarrow \quad (5.7)$$

$$\Leftrightarrow F_C = \sqrt{1175^2 + 1140.84^2} = 1637 \text{ N} \quad (5.8)$$

Depois de calculada a força aplicada ao corpo exterior, inicia-se o processo de análise numérica para este componente. Na figura 57 (a) é possível observar o tipo de restrições e cargas aplicadas ao corpo. A força F_C , calculada anteriormente, é aplicada em cada um dos apoios dos braços enquanto que o encastramento representado na figura refere-se à restrição de movimentos a que

o corpo está sujeito. Este não permite qualquer rotação ou translação. A figura 57 (b) representa o tipo de malha utilizado na análise numérica do corpo.

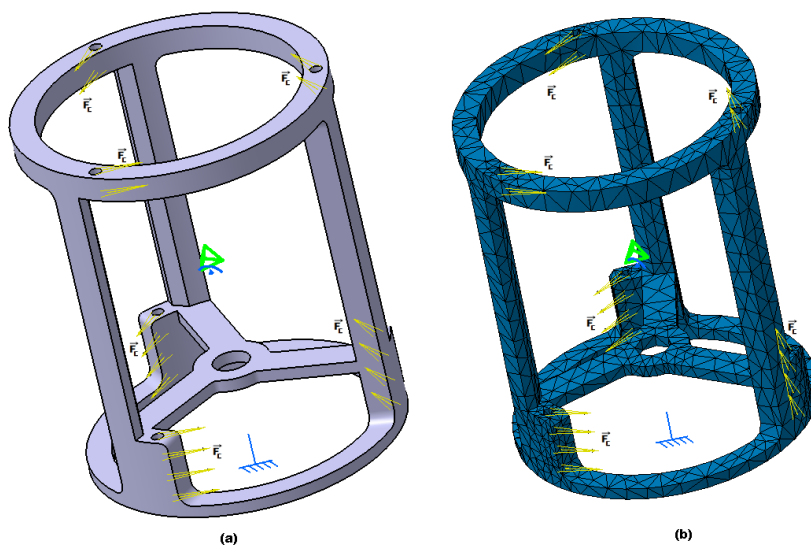


Figura 57- (a) Restrições iniciais e (b) malha de elementos finitos.

Da figura 58 (a) conclui-se que a tensão equivalente de Von Mises atinge o valor de 8,9 MPa. Uma vez que o material deste componente tem uma tensão limite de elasticidade de 569 MPa, conclui-se que a tensão aplicada representa 1,56 % do limite da peça. A figura 58 (b) mostra o deslocamento sofrido pelo corpo. Este atinge o valor de 0,0536 milímetros. Depois de efectuada a análise numérica para o corpo exterior, pode afirmar-se que o este está sobredimensionado. Deste modo, este componente deve ser optimizado de modo a maximizar o volume disponível inicialmente para armazenamento dos resíduos.

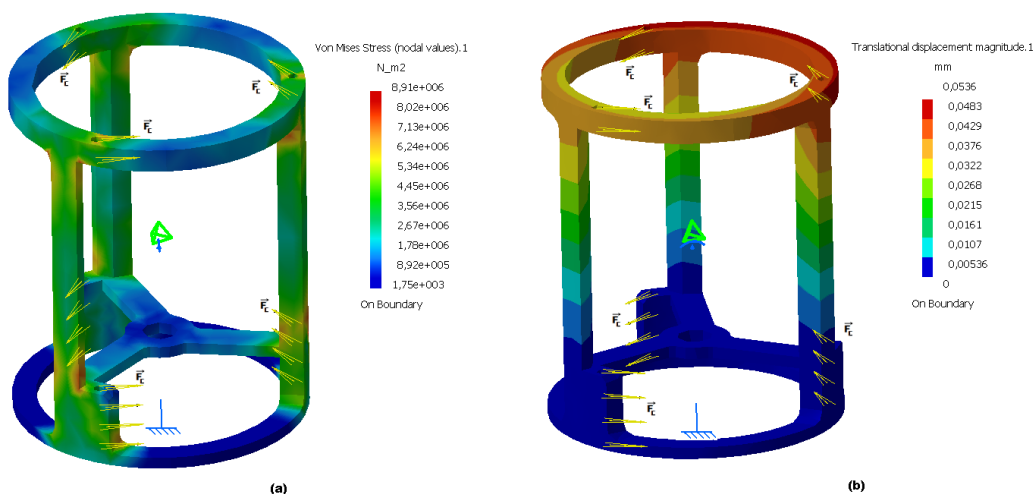


Figura 58- (a) Tensão equivalente de Von Mises e (b) deslocamento sofrido pelo corpo.

5.2- Conclusões

Os resultados da análise numérica de tensões e deformações, mostram que as várias peças desenvolvidas estão sobredimensionadas uma vez que as tensões aplicadas aos componentes são muito inferiores às tensões limite de elasticidade do material do qual são feitas. Assim, estes componentes podem ser alvo de um processo de optimização de forma a melhorar todo o sistema desenvolvido.

Tendo em conta a geometria do corpo exterior, verifica-se que o espaço disponibilizado para a colocação do conjunto de transmissão por corrente, representa uma grande parcela do volume ocupado no corpo⁸. Da análise numérica, conclui-se que este está sobredimensionado, possibilitando uma optimização da sua geometria como, por exemplo, a diminuição do volume ocupado, a redução de espessura em algumas zonas da peça. Assim, para além da redução de peso do conjunto total, aumentar-se-ia a razão de compactação uma vez que o volume, disponível inicialmente para a deposição dos resíduos, seria maior. A mesma análise pode ser aplicada aos braços de transmissão e às pás de compactação. Estes devem sofrer também um processo de optimização de forma a diminuir o volume ocupado pelos mesmos.

Deste modo, depois de optimizar todo o sistema, o volume disponível inicialmente é maximizado garantindo maior utilidade ao equipamento uma vez que o número de vezes que o lixo é recolhido é menor.

⁸ Ver secção 4.2.2 onde é efectuada a análise volumétrica do equipamento desenvolvido.

Capítulo 6- Conclusões

6.1- Conclusões gerais

Depois de efectuado o estudo de múltiplas soluções, a compactação provou ser uma boa solução para o actual problema de acumulação de resíduos. As soluções apresentadas neste projecto representam uma ajuda essencial para a diminuição da acumulação de resíduos domésticos. De entre as várias soluções estudadas, destaca-se a solução de engrenamento centrado e a de compressão por cabo. Duas soluções que cumprem os objectivos propostos: solução de dimensões reduzidas, com elevada capacidade de compactação e de custo reduzido.

Quanto à solução de engrenamento centrado, pode concluir-se que cumpre os objectivos do projecto. A solução desenvolvida no capítulo 4 tem a particularidade de ser universal permitindo a sua instalação em qualquer contentor de resíduos, desde que este cumpra as dimensões exigidas. Comparando esta solução com as existentes no mercado, é possível concluir que o mecanismo desenvolvido possui grandes vantagens como, por exemplo, maior capacidade relativa de compactação. Após a realização de todos os cálculos necessários obteve-se um valor de razão de compactação de 9, o que significa que o volume no final da compactação é nove vezes inferior ao volume de resíduos inicial. Comparando este valor com o valor da razão de compactação dos equipamentos disponíveis no mercado, conclui-se que este novo tipo de compactação obtém melhores resultados em termos de compactação. Este deve-se ao inovador sistema de compactação radial, que relaciona quadraticamente o volume de compactação em função do raio da geometria inicial. Assim, a sua razão de compactação é muito superior ao apresentado nos compactadores existentes e apresentados no capítulo 2. Estes produzem uma compactação linear ao contrário do compactador desenvolvido, que produz uma compactação quadrática. Assim, este novo equipamento é capaz de compactar maior quantidade de resíduos em menor espaço disponível. A diminuição das dimensões do equipamento permite uma maior liberdade de escolha para a colocação do mesmo. Uma vez que possui pequenas dimensões (o compactador não ocupa muito volume na cozinha) permite assim um melhor aproveitamento do espaço disponível. Como se trata de um equipamento universal, a localização e colocação do mesmo depende do critério de cada cliente. Da análise numérica efectuada para este equipamento, conclui-se que este deve sofrer um processo de optimização uma vez que se encontra sobredimensionado. Assim, é ainda possível melhorar todo o sistema de funcionamento e seus componentes principais dimensionados no capítulo 4. No que diz respeito a todos os componentes que faltam no equipamento desenvolvido como, por exemplo, os conjuntos motor/redutor, corrente/pinhão/cremalheira, parafusos e anilhas, estes podem ser adquiridos em lojas de venda ao público especializadas neste ramo. Assim, elimina-se a necessidade de dimensionamento dos mesmos e diminui-se o custo de fabrico do equipamento.

Quanto à solução de esmagamento por cabo, conclui-se que esta pode resultar em duas possíveis versões. Uma versão mais económica utilizando simples componentes adquiridos nas lojas específicas deste tipo como, por exemplo, molas de tracção, cabo de aço e os perfis de alumínio. Ou poderá optar-se por uma versão mais dispendiosa que utiliza uma fita metálica do tipo que é usado nos relógios. A utilização desta representa um maior custo da solução. Contudo elimina a

necessidade de vários componentes, melhorando a funcionalidade e viabilidade da solução. A reposição do cabo de aço ao fim de algum tempo é um dos aspectos melhorados, uma vez que a fita metálica possui maior longevidade de funcionamento em relação ao cabo de aço. Apesar de todos estes aspectos, estas soluções de esmagamento dos resíduos apresentam menor custo em relação com a solução de engrenamento centrado. Contudo, estas soluções mais económicas não disponibilizam a mesma capacidade de compactação nem a mesma fiabilidade. O sistema de compactação utilizando a transmissão por engrenagem é mais fiável e robusto que as soluções de cabo ou fita metálica.

6.2- Trabalhos futuros

De futuro pretende-se finalizar o processo desenvolvimento das soluções estudadas. No caso da solução de engrenamento centrado pretende-se efectuar a optimização de forma e geometria dos diferentes componentes dimensionados de modo a maximizar o volume inicialmente disponível para o armazenamento de resíduos. O uso de diferentes materiais para alguns componentes será também um tema de realce para um estudo futuro. Como forma de completar este projecto, pretende-se também construir as soluções desenvolvidas. Para esse efeito, efectuar-se-ão pedidos, apoios e patrocínios a empresas ligadas ao ramo dos equipamentos domésticos. Depois de construir os protótipos proceder-se-á à realização de testes experimentais de modo a concluir o desenvolvimento da solução ideal. No final do desenvolvimento, optimização e construção das soluções, tentar-se-á introduzir estes novos equipamentos no mercado nacional, uma vez que actualmente a sua disponibilidade é inexistente.

Referências

- [1] www.porto.taf.net/dp/taxonomy/term/39?from=60, Fevereiro de 2008
- [2] www.saudebrasilnet.com.br/revista_saude/saude2/saude.asp, Fevereiro de 2008
- [3] www.nytimes.com/2008/06/09/world/europe/09trash.html, Fevereiro 2008
- [4] noticias-alto-do-lumiar.blogspot.com/2007/04.html, Fevereiro de 2008
- [5] www.pontoverde.pt, Fevereiro de 2008
- [6] www.cm-matosinhos.pt/PageGen.aspx?WMCM_PaginaId=11058, Abril de 2008
- [7] www.autobloggreen.com/photos/volvo-hybrid-garbage-truck, Abril de 2008
- [8] www.kitchenaid.com/catalog/category.jsp?categoryId=298, Abril de 2008
- [9] www.wastecare.com/Products/Trash_Compactors, Abril de 2008
- [10] www.ajmadison.com/b.php/Trash+Compactors/N~44, Abril de 2008
- [11] aaa-applianceparts.com/trash-compactor.htm, Abril de 2008
- [12] Trash compactor shredder, Pub. No.: US 2004/0129810 A1, Pub. Date: July 8, 2004; Andrew Kasprovic, Devin Keith Cochran and Earl Warren Man.
- [13] Trash compactor, Patent number: 4024806, May 24, 1977; Charles B. Weeks and Paul V. Choate.
- [14] Control for trash compactor, Patent number: 3720844, March 13, 1973; Leonard J. Sahs
- [15] Trash compactor, Patent number: 3903790, September 9, 1975; Floyd R. Goldwin.
- [16] Manual trash compactor, Patent number: 5619915, April 15, 1997; William E. Wagner.
- [17] www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=5682e01583604573ab367e6b1e7f09bf, Junho 2008
- [18] Renold Worm gear units catalogue, Junho de 2008
- [19] Renold Roller chain catalogue, Junho de 2008
- [20] Prof. G. Henriot, “ *Traité Theorique et Pratique des Engrenages*” vol.1, DUNOD éditeur, 1982